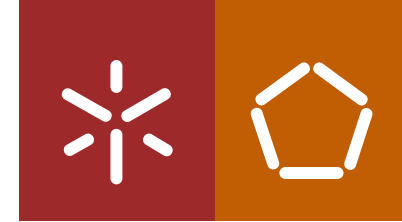




Susana Manuela Teixeira Pinheiro

Edifícios sustentáveis em construção metálica

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Susana Manuela Teixeira Pinheiro

Edifícios sustentáveis em construção metálica

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Manuel Bragança Miranda Lopes

e co-orientação da
Eng.^a Joana Bonifácio Andrade

Novembro de 2012

Os homens deixaram de ter tempo para conhecer o que quer que seja. Compram as coisas já feitas aos vendedores. Mas como não há vendedores de amigos, os homens deixaram de ter amigos. Se queres um amigo, cativa-me!

(Antoine de Saint-Exupéry, “O Príncipezinho”)

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Professor Doutor Luís Manuel Bragança Miranda Lopes, muito agradeço pela sua contribuição e papel fundamental na execução do estudo que conduziu à presente dissertação.

À coorientadora Eng.^a Joana Bonifácio Andrade, agradeço por toda a disponibilidade, suporte, incentivo e ajuda prestados ao longo destes meses de trabalho.

Em especial, agradeço carinhosamente aos meus pais por me terem proporcionado esta oportunidade de evoluir e alargar os meus conhecimentos. Aos meus pais e às minhas irmãs, Ana e Inês, por todo o companheirismo, compreensão, dedicação e especialmente por serem as pessoas mais importantes da minha vida. Ainda, à minha irmã Ana um muito obrigado por me ajudar, motivar e me dar a mão sempre que preciso.

À minha querida tia Mimi que sempre me acompanhou, apesar da distância a que nos encontramos, e que orgulhosamente faz parte do meu percurso da vida.

Não esquecendo e não menos importante, um muito obrigada aos meus amigos que orgulhosamente distingo: Julie Ferreira (“Ju”), Daniela Fernandes (“Dani”), Mónica Silva (“Moni”), Miguel Ribeiro, Catarina Martins (“Perguiça”), Cristiana Azevedo (“Bebe”), Roberto Machado (“Becas”), Priscila Henriques (“Pris”), Daniela Silva (“Dani”), Francisca Leite (“Kika”), João Serra (“Jonny”) e Pedro Cardoso (“Tocha”), por me proporcionarem momentos inesquecíveis, por me abraçarem e reclamarem nos devidos momentos e por preencherem o meu coração.

Agradeço a todos os inquiridos pela prestabilidade, compreensão e por possibilitarem a realização do meu estudo inserido nesta dissertação.

RESUMO

A indústria da construção tem um impacto indiscutível na sociedade e no meio ambiente. Para além de desempenhar funções de proteção e abrigo, promove conforto e bem-estar e, ao mesmo tempo, contribui ativamente para a economia mundial, sendo ainda responsável por grande parte dos impactos sobre o meio ambiente. Desta forma, é essencial integrar o conceito e requisitos do desenvolvimento sustentável neste sector. A forma mais efetiva de o fazer é aplica-lo desde as fases iniciais de projeto, seja para um novo edifício, seja para a reabilitação de um edifício antigo. As diversas vantagens de uma construção metálica, como, por exemplo, reciclabilidade, segurança e produção *off-site*, proporcionam que este tipo de construção se insira num futuro de “construção verde”, ou seja, que contribua para a sustentabilidade na construção. Assim, a presente dissertação tem como objetivo fundamental a identificação de quais os requisitos necessários para garantir a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de um edifício em estrutura metálica, nas fases de concepção e pré-projeto. Neste sentido, foi elaborado e distribuído um inquérito com o intuito de analisar a consideração dos requisitos de sustentabilidade, através de indicadores chave (indicadores económicos, sociais e ambientais) para projetistas. A metodologia seguida para o desenvolvimento e aplicação dos inquéritos foi semelhante à apresentada por Ugwu *et al* (2007) e Alwear e Clements-Croome (2010). Através da análise das respostas obtidas, verificou-se unanimidade no que diz respeito à necessidade de incluir, nas fases iniciais de projeto, as seguintes categorias de indicadores: “conforto térmico”, “fontes renováveis”, “acessibilidade” e “reutilização/reciclagem”. A combinação de todos os indicadores de sustentabilidade proporciona o conforto necessário de um determinado edifício para os respetivos habitantes. Os indicadores analisados devem ser alvo de inserção na fase de projeto para que, deste modo, seja possível determinar exaustivamente as condições de utilização da moradia, edifício ou loteamento. Ao abordar todos estes temas na execução do projeto, poder-se-á contribuir para uma construção económica, usando materiais reciclados e energias renováveis, por exemplo, preparando assim a habitação para o futuro e, acima de tudo, assegurando o seu conforto.

Palavras-chave: Construção Sustentável; Indicadores de Sustentabilidade; Estrutura metálica; Ciclo de vida; Fase de projeto.

ABSTRACT

Construction and real estate industries have an undeniable impact on society and the environment. Apart from projection and shelter functions, buildings promote comfort and well-being, while actively contributing to the global economy and being responsible for a great share of the environmental impacts. Thus, it is essential to integrate the concept and requirements of sustainable development in these sectors. The most effective way to do this is to apply it right from the early design stages, both for new buildings and rehabilitation. However, none of them is sufficiently effective in supporting the improvement of buildings' life cycle sustainability, during early design phases. The various advantages of steel construction, such as recyclability, safety and *off-site* production, promote its great role in fostering sustainable built environment. Thus, this dissertation aims to identify which fundamental requirements to guarantee sustainability throughout the life cycle of a steel building structure are, at early design phases. In this sense, an enquire was developed and distributed to analyse how sustainability requirements are dealt with during design phases, through key indicators (economic indicators, social and environmental) for designers. The methodology used for this survey was similar to the one presented by Ugwu et al (2007) and Clements-Croome and Alwear (2010). Through the analysis of the answers provided, there was unanimity regarding the need to include in the initial phases of a project, the following categories of indicators: "thermal comfort", "renewable sources", "accessibility" and "reuse/recycling". The combination of all sustainability indicators provides the comfort needed for a given building. The addressed indicators should be included in the design phase, in order to be possible to exhaustively determine the use conditions of a building. Addressing all these issues in early design will contribute to an economic construction, by, for instance, using recycled materials and renewable energy. In this way, buildings will be prepared for the future and, above all will be comfortable and healthy places to be in.

Keywords: Sustainable Construction, Sustainability Indicators; Metal structure, Life cycle; Phase project.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE QUADROS	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIX
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 ENQUADRAMENTO	1
CAPÍTULO 2 - CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: O CONCEITO.....	5
2.1 A CONSTRUÇÃO NO TEMPO	5
2.2 OS RECURSOS DA CONSTRUÇÃO	13
2.3 IMPACTE DOS EDIFÍCIOS	17
2.3.1 <i>Impacte social</i>	17
2.3.2 <i>Impacte Económico</i>	18
2.3.3 <i>Impacte ambiental</i>	18
2.4 DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE	20
2.4.1 <i>Medidas para a sustentabilidade</i>	22
CAPÍTULO 3 - CONTRIBUTO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA PARA A SUSTENTABILIDADE	25
3.1 EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS EM EDIFÍCIOS.....	25
3.1.1 <i>O aço e os edifícios</i>	27
3.1.2 <i>O aço versus o betão em Portugal</i>	32
3.2 VANTAGENS DA CONSTRUÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA	34

3.3. O FUTURO DO AÇO.....	42
CAPÍTULO 4 - CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS	43
4.1 FASES DO CICLO DE VIDA.....	43
4.2 FASES DE INTERVENÇÃO.....	46
4.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE.....	55
4.3.1 <i>Indicadores de Sustentabilidade</i>	55
4.3.2 <i>Metodologias existentes</i>	58
4.3.3 <i>Normalização Internacional</i>	69
CAPÍTULO 5 - SUSTENTABILIDADE NA FASE DE PROJETO	75
5.1 INTRODUÇÃO.....	75
5.2 SELEÇÃO DE INDICADORES	76
5.2.1 <i>Design dos questionários</i>	78
5.2.2 <i>Seleção da amostra/ Inquiridos</i>	80
5.2.3 <i>Implementação dos questionários</i>	81
5.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE RESULTADOS	83
5.3.1 <i>Características sociodemográficas da amostra</i>	83
5.3.2 <i>Indicadores de sustentabilidade na construção</i>	85
5.3.3 <i>Indicadores de Sustentabilidade a considerar na fase de projeto</i>	96
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
6.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO	107
6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
ANEXO I.....	121
ANEXO II.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Construção eco eficiente (adaptado de Mateus, 2004).....	6
Figura 2 – Evolução das preocupações no sector da construção civil (adaptado de Bordeau <i>et al.</i> , 1998).....	8
Figura 3 - Importância da construção sustentável para o desenvolvimento sustentável (LiderA, 2010).....	12
Figura 4 - Objetivos dos edifícios (Mateus, 2004)	13
Figura 5 – O consumo e a produção na construção	15
Figura 6 - A abordagem holística para a construção sustentável	20
Figura 7 - Desafios e Ações – Agenda 21 para Construção Sustentável (CIB, 1999)	23
Figura 8 – Cenários de fim do ciclo de vida de materiais (Adaptação: worldsteel, 2011).....	25
Figura 9 - Ponte Octávio Frias, São Paulo	28
Figura 10 - Edifício em construção metálica em Felgueiras	28
Figura 11 - Estação ferroviária de Liège, na Bélgica	28
Figura 12– Estádio Olímpico de Londres.....	28
Figura 13 - Ciclo de vida dos produtos siderúrgicos (worldsteel, 2011).....	30
Figura 14 - Edifício em estrutura metálica na Batalha	35
Figura 15 – Torre Eiffel	36
Figura 16 – Shopping de Brasília	36
Figura 17 - Schüco Technology Center, Bielefeld, Alemanha.....	37
Figura 18 – Produção de estruturas metálicas em fábrica	38
Figura 19 – Montagem de uma estrutura metálica	38
Figura 21 - Estrutura com reutilização de componentes em aço	41
Figura 22 - Edifício unifamiliar: (a) Estrutura tradicional em betão; (b) Estrutura metálica ...	41
Figura 23 - Fases de uma análise ciclo de vida (ISO 14040, 2006)	43
Figura 24 – Ciclo de vida da construção (CICA, 2002)	44
Figura 25 - Ciclo de vida de um edifício (Sustentabilidade de soluções construtivas, Bragança e Mateus, 2006)	45
Figura 26 - Influência de tomada de decisão em diferentes fases de um projeto de construção (Kohler e Moffatt, 2003).	47

Figura 27 – Ciclo de vida da fase de projeto.....	48
Figura 28 – Exemplo de fachada ilustrativa de poupança e geração de energia.....	55
Figura 29 - Sistemas de certificação para edifícios sustentáveis	60
Figura 30 – Experiência Profissional da amostra.....	83
Figura 31 - Profissões respectivas aos inquiridos	84
Figura 32 – Categoria “Impacte ambiental e eficiência energética”	86
Figura 33 – Categoria “Sustentabilidade local”	88
Figura 34 – Categoria “Qualidade do ar interior”	89
Figura 35 - Categoria “Materiais e Recursos”	90
Figura 36 – Categoria “Custos”	92
Figura 37 – Categoria “Eficiência da água”	93
Figura 38 – Categoria “Desperdícios”	94
Figura 39 – Indicadores considerados na fase de projeto na atualidade	96
Figura 40 - Categoria “Impacte ambiental e eficiência energética”	97
Figura 41 - Categoria “Sustentabilidade local”	99
Figura 42 - Categoria “Qualidade do ar interior”	100
Figura 43 - Categoria “Materiais e Recursos”	101
Figura 44 - Categoria “Custos”	103
Figura 45 - Categoria “Eficiência da água”	104
Figura 46 - Categoria “Desperdícios”	105

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Análise de impacte ambiental de ciclo de vida de um edifício de estruturas metálicas leves: LGSF (Sampaio, 2011)	19
Quadro 2 - Aspetos relevantes da construção sustentável (adaptado de CIB, 1998)	24
Quadro 3 – Indicadores de Sustentabilidade (IISI, 2003)	32
Quadro 4 – Exemplo de KPIs ao longo do ciclo de vida (Fonte: ALwaer e Clements-Croome, 2010).....	57
Quadro 5 – Indicadores de sustentabilidade avaliados pelo BREEAM	62
Quadro 6 - Indicadores de sustentabilidade avaliados pelo SBTool ^{PT}	64
Quadro 7 - Principais categorias de avaliação e secções da folha de registo no sistema CASBEE.....	66
Quadro 8 - Lista de critérios do sistema de certificação DGNB	67
Quadro 9 - Indicadores de Sustentabilidade da metodologia PERFECTION	69
Quadro 10 - Indicadores de Sustentabilidade selecionados.....	77
Quadro 11 - Número de inquiridos versus empresa	80
Quadro 12 - Tipo de distribuição dos questionários por empresas.....	82
Quadro 13 - Características sócio-demográficas dos inquiridos: Idade	83
Quadro 14 – Indicadores considerados e a considerar na fase de projeto	106

LISTA DE ABREVIATURAS

SIMBOLOS ALGÉBRICOS

BEE	Eficiência Ambiental dos Edifícios - <i>Building Efficiency Environment</i>
BREEAM	Método de Investigação, Estabelecimento e Avaliação Ambiental dos Edifícios - <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	Sistema Compreensivo de Avaliação da Eficiência Ambiental na Construção - <i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>
CEN	Comité Europeia de Normalização
CFC	Clorofluorocarbonetos
CIB	Conselho Internacional da Construção - <i>Conseil International du Bâtiment</i>
COM	Comunicação da Comissão Europeia
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CRISP	Indicadores relacionados com a Sustentabilidade na Construção - <i>Construction Related Sustainability Indicators</i>
CTCIM	Centro Técnica Industrial de Construção Metálica
DGNB	Concelho de Certificação do Sistema de Construção Sustentável - <i>Sustainable Building Council Certification System</i>
EPD	Declaração ambiental de produtos
EUA	Estados Unidos da América
GBC	Desafio “Edifícios Verdes” - <i>Green Building Challenge</i>
GEE	Gases do efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IEA	Agência Internacional de Energia - <i>International Energy Agency</i>
IISI	Instituto Internacional de Ferro e Aço - <i>International Iron and Steel Institute</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
ISO	Organização Internacional para a Padronização - <i>International Organization for Standardization</i>
HCFC	Hidroclorofluorocarbonetos

KIPI	Indicadores-chave do Desempenho de Interiores - <i>Key Indoor Performance Indicators</i>
KPIs	Principais Indicadores de Desempenho - <i>Key performance indicators</i>
LCA	Avaliação do Ciclo de Vida - <i>Life Cycle Assessment</i>
LCC	Custo do Ciclo de Vida - <i>Life-Cycle Cost analysis</i>
LCIA	Avaliação de impacte do ciclo de vida
LEED	Liderança em Energia e Design Ambiental - <i>Leadership in Energy and Environmental Desing</i>
LGSF	Estruturas Metálicas Leves - <i>Light Gauge Steel Framing</i>
PEC	Consumo de Energia Primária - <i>Primary Energy Consumption</i>
PIB	Produto Interno Bruto
RFCS	Fundo de Investigação do Carvão e do Aço - <i>Research Fund for Coal and Steel</i>
SBI	Instituto de pesquisa Nacional de Edifícios - <i>Statens Byggeforskningsinstitut</i>
SBTool	Ferramenta de Construção Sustentável - <i>Sustainable Building Tool</i>
SC	Subcomissão - <i>Subcommittee</i>
SCI	Instituto de Construção em Aço
SLCA	Avaliação do ciclo de vida social - <i>Social Life-cycle Assessment</i>
SRA	Agenda Estratégica de Investigação - <i>Strategic Research Agenda</i>
SRI	Instituto de Aço Reciclado
TC	Comité Técnico - <i>Technical Committee</i>
UE	União Europeia

COMPOSTOS QUIMICOS

CO ₂	Dióxido de carbono
NH ₃	Amónia
NO _x	Óxidos de azoto
SO _x	Óxidos de enxofre

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

A dissertação intitulada *Edifícios Sustentáveis em Construção Metálica* tem como objetivo fundamental identificar os requisitos necessários para proporcionar e garantir a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida (desde a extração de matérias primas até à sua demolição) de edifícios, nas fases de conceção e pré-projecto. A fase inicial de um projeto de construção é conhecida por ser a fase mais crucial para o desenvolvimento de uma construção mais eficiente e para um melhor desempenho do edifício já construído.

Assim, foram traçados os seguintes objetivos específicos para a presente dissertação:

- (i) Compreender e identificar quais os principais benefícios da construção metálica;
- (ii) Identificar indicadores de sustentabilidade que são inseridos na fase de projeto;
- (iii) Selecionar indicadores de sustentabilidade que devem ser inseridos na fase de projeto.

1.2 Enquadramento

O Desenvolvimento Sustentável é uma questão essencial com implicações em todos os setores da sociedade atual. A indústria da construção desempenha um papel fundamental nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável, não só pela sua contribuição para a economia global, como também pelos seus impactes significativos, tanto em termos ambientais como em termos sociais.

A construção sustentável engloba uma série de medidas que visam o seu desenvolvimento, passando pela utilização de novos sistemas construtivos, por inovações nas tecnologias da construção, pela diminuição do consumo de matérias-primas e pela utilização de materiais construtivos mais ecológicos e de superior industrialização. A construção em estruturas metálicas visa responder a estas medidas.

Desta forma, e visando dar resposta aos objetivos traçados para esta dissertação, o presente documento encontra-se dividido em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma breve

descrição do âmbito da presente dissertação, assim como quais os seus principais objetivos para o desenvolvimento do tema em questão.

No Capítulo 2, é abordado o tema da sustentabilidade na sua generalidade, ou seja, o conceito e a evolução da construção sustentável ao longo do tempo. Para além disso, encontram-se quantificados os recursos que a construção envolve, assim como o impacte dos edifícios relativamente às três dimensões da sustentabilidade: sociedade, economia e ambiente.

No Capítulo 3, é caracterizada a evolução das estruturas metálicas em edifícios, bem como a avaliação do ciclo de vida (LCA) do aço, as respetivas vantagens da sua aplicação na construção e relativamente ao material convencional: betão.

De seguida, o Capítulo 4 visa perceber de que forma é que a sustentabilidade é tida em conta durante todo o ciclo de vida de um edifício. A construção sustentável é uma condição essencial para o alcance do desenvolvimento sustentável da sociedade. Neste sentido, é fundamental inserir a sustentabilidade em todas as etapas do ciclo de vida de um edifício, tendo sempre em consideração as três dimensões da sustentabilidade (economia, sociedade e ambiente). Por conseguinte, são identificadas e descritas as fases do ciclo de vida dos edifícios, bem como os meios/metodologias existentes para avaliar a sua sustentabilidade. Os edifícios possuem um grande período de vida útil, o que traduz a necessidade de existirem ações de manutenção, que implicam delinear cenários que prevejam a tipologia de investimentos relativos a estas ações, quer em termos de materiais necessários, de custos e de tempo de vida espectável, quer em soluções direcionadas para o fim de vida dos edifícios (demolição). Assim, surge a necessidade de aplicar metodologias de avaliação da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do edifício, nas fases preliminares, de modo a proporcionar as melhores soluções a implementar, minimizando o impacte ambiental do edifício de uma forma menos dispendiosa.

Sendo a fase de projeto uma fase do ciclo de vida dos edifícios que é crucial para a promoção da sustentabilidade, o Capítulo 5 apresenta uma abordagem mais detalhada à sustentabilidade nesta fase. Desta forma, apresenta-se o estudo realizado, com base em inquéritos realizados a empresas/gabinetes portugueses, que pretende analisar como é que a sustentabilidade é considerada no decorrer do projeto de um edifício.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta os principais resultados desta dissertação, apresentando as suas conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros, para que o meio edificado se torne mais sustentável.

CAPÍTULO 2 - CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: O CONCEITO

2.1 A construção no tempo

A indústria da construção desde sempre se destacou como sendo um dos sectores mais fortes em todo o Mundo. É responsável por um impacte significativo no ambiente devido, fundamentalmente, ao elevado consumo de matérias-primas e de energia e à produção de resíduos. Para além disso, possui um grande impacte em termos económicos e sociais. Por tudo isto, torna-se fulcral inseri-la nos desígnios do “Desenvolvimento Sustentável” (Mateus e Bragança, 2006).

O crescimento a grande velocidade das cidades acentuou-se com a Revolução Industrial. Com efeito, houve um aumento populacional, dos resíduos e da extração dos recursos naturais esgotáveis, tornando-se um problema para o meio ambiente. Deste modo, o abusivo uso de fontes essenciais, como a água e o petróleo, levou a uma necessidade urgente de estabelecer novos métodos de construção.

Nos finais do século XX, a sustentabilidade, a ecologia, a construção sustentável e a conservação de energia ocuparam um lugar de destaque na sociedade. O aumento do processo construtivo, que proporcionou a geração de grandes quantidades de resíduos (segundo a Agenda 21 (2002) cerca de 50% dos resíduos produzidos pelo Homem estão associados ao sector da construção), levou a que a sociedade se consciencializasse acerca da sustentabilidade na construção. Esta produção de resíduos ocorre ao longo de várias etapas do ciclo de vida da construção, desde a criação das matérias-primas à sua colocação no local da construção, vida útil da construção, desmantelamento e deposição final.

Para que as gerações futuras possam usufruir de um meio ambiente no mínimo idêntico ao da atualidade, é necessário criar hábitos de construção que possuam um menor impacte sobre o ambiente. Deste modo, é fulcral promover a utilização de novos materiais e tornar mais eficiente a utilização e a gestão dos recursos e resíduos da construção (Relatório Brundtland, 1987).

Desde 2000, tanto os consumos como a produção a nível de sustentabilidade têm sofrido diversas alterações, existindo uma dissociação entre a utilização dos recursos e o crescimento económico (Eurostat, 2011). Neste âmbito, com o crescente aumento das preocupações ambientais, o conceito de qualidade na construção passou a abranger os aspetos relacionados com a qualidade ambiental. Em consequência, nasce uma construção eco-eficiente, também designada por construção ecológica ou por construção “verde” (Mateus, 2004). O objetivo da construção eco-eficiente consiste numa redução do impacte ambiental da construção e, se possível, em “construir para conseguir o efeito oposto, isto é, criar edifícios com consequências reparadoras para o meio ambiente, por exemplo, através da substituição de edifícios ou de outro tipo de construções, por outros com efeitos menos perniciosos sobre o meio ambiente”, tal como exemplificado na Figura 1 (Mateus, 2004). Consequentemente, a construção eco-eficiente permitirá que “o meio construído se integre em todos os aspetos dos sistemas ecológicos (ecossistemas) e da biosfera, durante todo o seu ciclo de vida” (Mateus, 2004).

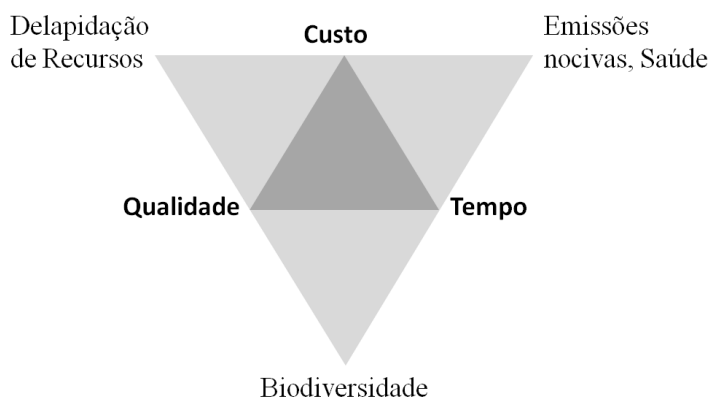


Figura 1 – Construção eco eficiente (adaptado de Mateus, 2004)

O conceito de sustentabilidade surgiu a partir de 1987 através da publicação do Relatório "Nosso Futuro Comum". Este Relatório é conhecido como Relatório de Brundtland, o qual define o conceito de sustentabilidade como "o desenvolvimento sustentável que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades". Em relação a esta definição, Mateus (2004) referiu que, apesar da definição do conceito de sustentabilidade ser vaga, este proporcionou uma mensagem bastante positiva e simples, permitindo que o desenvolvimento ocorresse num patamar não prejudicial ao ambiente natural ou às gerações futuras, obtendo, deste modo, um equilíbrio entre os níveis de desenvolvimento e a quantidade existente de recursos naturais. Em suma,

este relatório “consolidou a ideia de que era necessário um esforço comum e planetário para que o rumo do modelo de desenvolvimento económico fosse corrigido”.

A coligação entre a sustentabilidade e a construção tornara-se evidente e surgiu, então, através das palavras de Kibbert, em 1994, o termo “construção sustentável”. Kibbert descreveu a “construção sustentável” como “uma responsabilidade da indústria da construção no que diz respeito ao conceito e aos objetivos da sustentabilidade” (Gervásio, 2008).

O conhecimento existente e o diagnóstico à indústria da construção, em termos de impactes ambientais, revelam que existe a necessidade de uma mudança de pensamento e atitude por parte dos intervenientes no sector da construção para se atingirem os objetivos de sustentabilidade. Como primeira prioridade, dever-se-á referir a necessidade de se analisarem as características da construção tradicional e de a comparar com o novo critério sustentável para os materiais, os produtos e os processos de construção (Figura 2). Esta linha de pensamento viria a alterar os fatores tradicionalmente considerados competitivos na indústria da construção: a qualidade, o tempo e o custo (Mateus, 2004).

A construção sustentável representa uma nova alternativa para equacionar a conceção, a construção, a operação e a desconstrução/demolição do meio edificado. Na perspetiva tradicional, as preocupações centram-se na qualidade dos materiais, no tempo despendido e nos custos associados. A construção sustentável adiciona a essas temáticas as preocupações ambientais relacionadas com o consumo de recursos, as emissões de poluentes, a saúde e a biodiversidade, o que constitui um novo paradigma, cujo desafio principal é o de contribuir para a qualidade de vida, para o desenvolvimento económico e para a equidade social (Agenda 21, 2002).

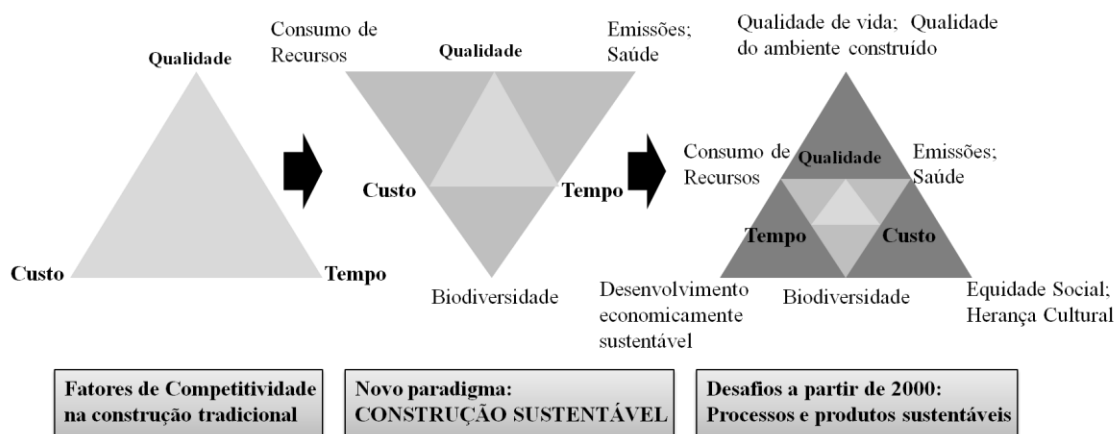


Figura 2 – Evolução das preocupações no sector da construção civil (adaptado de Bordeau *et al.*, 1998)

Segundo Mateus (2004), é possível identificar diversas prioridades para a construção e que constituem os pilares da construção sustentável. Neste sentido, para o pilar *economizar energia e água*, os edifícios devem ser projetados de forma a se assegurar uma gestão eficiente dos consumos energéticos e de água. O processo produtivo de energia elétrica possui um elevado impacto ambiental, visto que emite uma grande quantidade de gases poluentes e utiliza como matéria-prima, maioritariamente, um recurso natural limitado e não renovável, devendo proceder-se à máxima redução do seu consumo. Por conseguinte, “o uso progressivo de energia constitui provavelmente o maior impacto ambiental dos edifícios, pelo que deve ser considerada a prioridade principal” (Mateus, 2004). Deste modo, a poupança de energia está relacionada com diversos aspetos, desde a minimização dos consumos energéticos durante a fase de construção (adotando sistemas de construção simples), até à redução dos consumos energéticos durante a fase de utilização (utilização de fontes de energia renováveis; minimização dos consumos durante as estações de arrefecimento [verão] e aquecimento [inverno]; e otimização da iluminação e ventilação natural). Para além disso, é necessário assegurar uma gestão adequada da água, sendo esta cada vez mais escassa, atuando, para isso, sobre a produção de águas residuais. Como solução a este problema poderá efetuar-se, por exemplo, a colocação de autoclismos com sistemas de descarga diferenciados, bases de chuveiros em detrimento de banheiras, torneiras monocomando, torneiras com temporizador e de descarga automática, entre outros. Adicionalmente, também é necessário *assegurar a salubridade dos edifícios* de modo a garantir o conforto ambiental no interior dos edifícios, utilizando, sempre que possível, iluminação e ventilação naturais. Para além disso, deve evitar-se os compartimentos que não possuam aberturas diretas para o exterior do edifício.

Por conseguinte, é importante *maximizar a durabilidade dos edifícios*. Atualmente, os projetos têm como ponto fulcral a resistência e não a durabilidade. Deste modo, surge a necessidade de modificar esta situação, pois com a utilização de pequenos investimentos nas fases de conceção e construção é possível ampliar o ciclo de vida dos edifícios. Tal como referido por Mateus (2004): “para tal, devem ser utilizadas tecnologias construtivas e materiais de construção que sejam duráveis, e as construções devem ser flexíveis de modo a permitirem o seu ajuste a novas utilizações. Quanto maior for o ciclo de vida de um edifício, maior vai ser o período de tempo correspondente aos impactes ambientais produzidos durante a fase de construção serão amortizados”.

Atualmente, a maioria dos projetistas não considera o *planear a conservação e a manutenção dos edifícios* após a construção, apesar de um edifício dever ser objeto de alguns investimentos periódicos que salvaguardem a sua conservação. Os edifícios possuem uma vida útil limitada e seguem um processo de envelhecimento, desde a sua construção até à sua reabilitação e demolição. Devido às ações físicas, químicas e mecânicas a que os edifícios estão submetidos, é inevitável que estes tendam a deteriorar-se e, em determinados casos, chegando mesmo a atingir um tal estado de degradação que não proporcionam o conforto e a segurança estrutural, previstos durante a fase de projeto, podendo mesmo, em casos extremos, verificar-se a sua ruína total ou parcial. Assim, as intervenções de manutenção e reabilitação permitem um aumento do ciclo de vida das construções.

A utilização de materiais eco-eficientes ou ecológicos constitui uma forma ideal de planear a conservação e manutenção dos edifícios durante o ciclo de vida, desde a fase de extração até à demolição. Deste modo, *utilizar materiais eco-eficientes* é uma prioridade para a construção sustentável. São considerados materiais eco-eficientes os materiais que cumpram diversos requisitos tais como (Mateus, 2004):

- i. Não possuir químicos nocivos à camada de ozono (como, por exemplo, clorofluorocarbonetos - CFC e hidroclorofluorocarbonetos - HCFC);
- ii. Ser durável. Como os consumos energéticos durante a fase de processamento dos materiais são elevados, um material que seja durável ou que requeira uma menor manutenção contribui geralmente para a poupança energética. Materiais mais duráveis também contribuem para a diminuição dos problemas relacionados com a produção de resíduos sólidos;

- iii. Exigir poucas operações de manutenção. Sempre que possível, deve-se escolher materiais que exijam poucas operações de manutenção (tintas, materiais impermeabilizantes, etc.), ou aqueles cuja manutenção implique um baixo impacto ambiental;
- iv. Incorporar baixa energia primária (PEC – *Primary Energy Consumption*). A energia incorporada nos materiais resulta do somatório da energia consumida durante a extração das matérias-primas, do seu transporte para as unidades de processamento e no seu processamento. Quanto mais elaborado for o processamento, maior será a energia incorporada. Sempre que a durabilidade dos materiais não seja comprometida e as reservas de matérias-primas o permitam, devem ser utilizados materiais com baixa energia incorporada;
- v. Estar disponível nas proximidades do local de construção. O transporte dos materiais de construção acarreta custos económicos e ambientais (utilização de energia e emissão de gases poluentes). Por consequência, deve preferir-se a utilização de materiais produzidos na região;
- vi. Ser elaborado a partir de matérias recicladas e/ou que possuam grandes potencialidades para virem a ser recicladas ou reutilizadas. Os materiais de construção realizados a partir de matérias recicladas participam na mitigação dos problemas relacionados com os resíduos sólidos, diminuição dos consumos energéticos na fase de transformação, e contribuem para a preservação dos recursos naturais.

Para além disso, para que um edifício seja sustentável, deve *apresentar baixa massa de construção*. Quanto menor for a massa total do edifício, menor será a quantidade de recursos naturais incorporada. Para uma construção mais racional dever-se-á introduzir tecnologias construtivas que permitam reduzir o peso das construções. Para obter esta redução do peso das construções deve-se optar por uma solução construtiva leve (por exemplo, LGSF - *Light Gauge Steel Framing* – construção metálica leve) na envolvente vertical dos edifícios, com elevado desempenho térmico e acústico e da utilização pontual no seu interior de materiais de elevada massa, que desempenhem conjuntamente funções estruturais e de armazenamento térmico. Outra prioridade para a construção sustentável é a *minimização da produção de resíduos*. Os resíduos da construção provêm da produção dos materiais, das perdas durante o seu armazenamento, transporte, construção, manutenção e demolição. Por consequência, é na fase de construção que se produz uma grande parte dos resíduos provenientes da indústria da construção. Para a diminuição da produção de resíduos durante as fases de transporte e de

construção dever-se-á proceder a um correto acondicionamento e armazenamento dos materiais de construção. A diminuição da produção de resíduos na fase de construção pode ser conseguida através da maximização da utilização de sistemas pré-fabricados, que só é possível através da utilização de dimensões-padrão na fase de conceção (Mateus, 2004).

Por tudo isto, a construção deve *ser económica*. Uma construção só poderá ser sustentável se, depois de integrados os princípios enunciados nos pontos anteriores, se conseguir compatibilizar o seu custo com os interesses do dono de obra e dos potenciais utilizadores. Assim, para que a construção sustentável seja aplicada, o seu custo deve ser inferior ao da construção tradicional. A análise económica de um sistema de construção deve ser efetuada tendo em conta todas as fases do seu ciclo de vida. Para a racionalização económica durante a fase de construção, deve considerar-se o aumento da produtividade através da utilização de sistemas construtivos simples, padronizados e que exijam uma menor carga de mão-de-obra. Para além disso, a diminuição do período de construção constitui um fator económico importante, porque permite maior rapidez no retorno do investimento inicial. Durante a fase de utilização, devem ser considerados os benefícios económicos resultantes da melhor racionalização energética, de consumo de água e na maior durabilidade dos materiais, com a consequente redução dos custos de manutenção. A análise económica, sendo palavra “económica” diferente de “barata”, de um sistema construtivo não fica completa se não for considerado o valor residual das construções, isto é, o valor no final da sua vida útil, que depende da possibilidade dos seus materiais e componentes virem a ser reutilizados ou reciclados.

Por fim, é necessário *garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção*. Deste modo, deve realizar-se uma escolha criteriosa dos materiais, produtos, sistemas construtivos e processos de construção, de modo a melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores e a potenciar a diminuição dos riscos de acidente, em cada uma das fases do ciclo de vida de uma construção (Mateus, 2004).

A sustentabilidade evoluiu através do paradigma de qualidade, custo e tempo de forma a incluir o bom desempenho ambiental. Nesta abordagem, o papel dos vários agentes é decisivo, incluindo o sector da extração dos materiais, o da construção, os clientes das estruturas edificadas, os gestores e os responsáveis da manutenção. Pode, assim, dizer-se que este novo modo de conceber a construção procura satisfazer as necessidades humanas,

protegendo e preservando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos naturais. Por outras palavras, a Engenharia aproxima-se cada vez mais do Ambiente, da Economia e da Sociedade.

Através da Figura 3, é possível verificar que o contributo da construção sustentável é fundamental para ramificar o conceito de sustentabilidade na sociedade, e assim, concretizar o último objetivo: o do desenvolvimento sustentável.

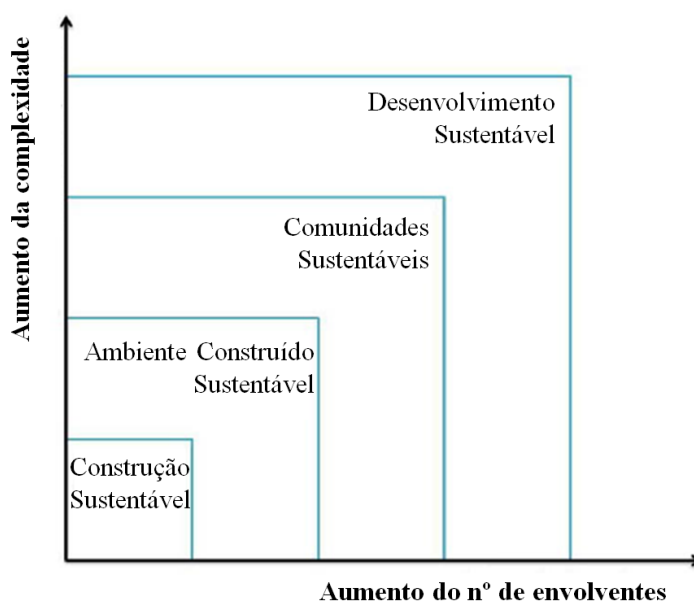


Figura 3 - Importância da construção sustentável para o desenvolvimento sustentável (LiderA, 2010)

Consequentemente, a indústria da construção tem como objetivo a realização de “um produto que satisfaça a funcionalidade requerida pelo dono da obra, com as necessárias condições de segurança para o efeito das ações, tanto naturais como humanas, e com características de durabilidade que permitam a redução da deterioração ao longo do seu ciclo de vida. O produto deve ainda ser compatível com os interesses económicos do dono de obra, ser esteticamente agradável e compatível com a sua envolvente, e traduzir o menor impacte ambiental possível” (Figura 4) (Mateus, 2004).



Figura 4 - Objetivos dos edifícios (Mateus, 2004)

Através da interligação e equilíbrio destes seis vetores é possível que os edifícios sejam efetivamente compatíveis com as necessidades humanas do presente e do futuro, com o auxílio do bom senso e dos conhecimentos tecnológicos dos diversos intervenientes da construção. Deste modo, a construção sustentável deve ser considerada em todo o ciclo de vida do edifício, ou seja, desde a extração de matérias-primas, o seu transporte e transformação, planeamento, projeto e construção do edifício, passando pela utilização e finalmente pela demolição ou desmantelamento (Bragança *et. al.*, 2007).

2.2 Os recursos da construção

A indústria da construção possui um papel importante, tanto na economia do mundo como na sociedade (Burgan e Sansom, 2006, Ding, 2008). O sector da construção é um sector chave para o desenvolvimento sustentável, tanto em termos dos benefícios com que contribui para a sociedade, como em termos dos seus consideráveis impactes negativos, visto que as considerações apropriadas não são aplicadas em todo o ciclo de vida dos edifícios (UNEP, 2007). Desta forma, a construção encontra-se cada vez mais próxima da sua globalização, o que significa um aumento da desordem e das transformações estruturais. A título de exemplo, o volume de declínio de novos edifícios nos países desenvolvidos e a sua participação na reabilitação deverá crescer perto de 90% em 2050 (Iwamura, 2007).

Entre 2001 e 2011, o número de famílias clássicas aumentou cerca de 10,8%; contudo, estas tornaram-se de menores dimensões. O peso das famílias com uma e duas pessoas aumentou, enquanto as famílias de maior dimensão têm vindo a perder expressão: em 2011 as famílias

com cinco ou mais pessoas representavam 6,5% da população total face a 9,5% em 2001 e a 15,4% em 1991 (INE, 2011). O índice de envelhecimento dos edifícios é de 1,9%, o que significa que o número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro daqueles que foram construídos após 2001 (INE, 2011).

Durante os últimos anos, o conceito de eficiência energética e avaliação do ciclo de vida (LCA) tornou-se um tema dominante na arquitetura e na construção. Esta questão é particularmente relevante num momento em que o sector da construção representa quase 40% do consumo total de energia na União Europeia (EPBD, 2010), sendo o setor de construção civil um dos setores de maior dimensão e mais ativo na Europa, representando 28,1% e 7,5% dos empregos na indústria e na economia europeia, respetivamente (Torgal e Jalali, 2010). A construção gera quase 10% do PIB e oferece 20 milhões de empregos principalmente nas micro e pequenas empresas (European Commission, 2012).

O setor da construção civil poderia contribuir significativamente para a criação de empregos, aumentando a sua atividade em algumas áreas muito promissoras, como a renovação de edifícios e de infra-estruturas com o apoio de, por exemplo, políticas adequadas para promover a necessidade mas também para incentivar o investimento. Assim, o sector da construção tem um papel importante na aplicação da Estratégia Europa 2020 para o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo (European Commission, 2012). De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (2010), a indústria da construção é ainda responsável pela produção anual de cerca de 8 milhões de toneladas de resíduos sólidos, pela produção anual de 420 milhões de metros cúbicos de águas residuais e pelo consumo de cerca de 20% dos recursos energéticos nacionais. Esta realidade traduz-se em significativos impactes ambientais, sociais e económicos, com grande potencialidade de virem a ser diminuídos.

A construção de edifícios é responsável pelo consumo de uma grande parte de recursos consumidos anualmente, englobando 40% dos recursos minerais (pedra, brita, areia, etc.), 25% da madeira, 40% da energia e 16% da água (Roodman, 1995). Como recursos da construção, destacam-se a energia, o consumo de matérias-primas sólidas, orgânicas e inorgânicas, a água e a utilização do solo. Como produtos, salientam-se os resíduos sólidos, a emissão de gases poluentes, nomeadamente os gases com efeito de estufa (GEE), o calor residual, as poeiras, o fumo e as águas residuais (Mateus, 2004).

Segundo o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, a construção civil está relacionada com um consumo e uma produção ineficiente e a utilização de recursos é excessiva, tal como sugerido pela análise da Figura 5.

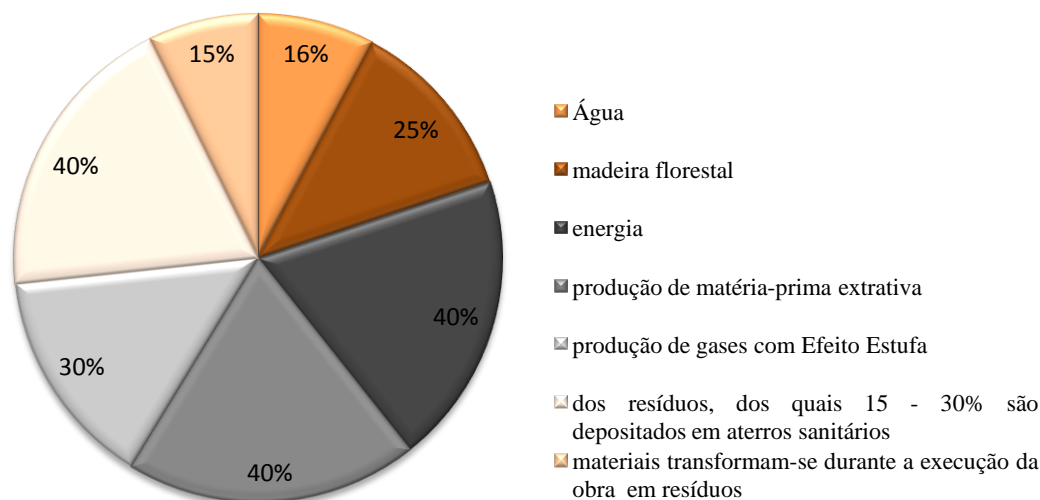


Figura 5 – O consumo e a produção na construção

Em termos de impacto ambiental, esta indústria de intensivo consumo energético é responsável por cerca de 30% de todas as emissões de carbono. Além disso, em todo o mundo, a indústria da construção consome mais matérias-primas (quase 50% em peso) do que qualquer outra atividade económica (Fernandes e Mateus, 2012). Para mitigar este impacto, a União Europeia (UE) traçou um caminho para alcançar uma construção mais eficiente, definindo objetivos de médio prazo, tais como a redução de 50% no consumo de energia, 30% do consumo de matérias-primas e 40% dos resíduos de produção (Torgal e Jalali, 2010).

A participação das energias renováveis na produção de eletricidade da UE cresceu de 13,8% em 2000 para 16,7% em 2008. Apesar do aumento, é improvável que a UE atinja a meta de 21% definida para 2010. Em contraste, a percentagem de energias renováveis no sector dos transportes subiu rapidamente entre 2006 e 2008 para 3,5% dos combustíveis para transportes (Eurostat, 2011). Entre 2000 e 2008, as emissões de óxidos de enxofre (SOx), óxidos de azoto (NOx), compostos orgânicos voláteis (COV) e amónia (NH₃) diminuíram substancialmente. Dos quatro poluentes monitorizados, as emissões de SOx foram as que registaram maior diminuição. Em média, a redução foi aproximadamente de 6,7% por ano, cerca de 10 milhões de toneladas em 2000 para pouco menos de 6 milhões de toneladas em 2008 (Eurostat, 2011).

O setor da construção sustentável tem um papel crucial na concretização da meta a longo prazo de redução de gases do efeito de estufa, sendo de destacar o objetivo da UE (2012) que consiste na redução de cerca de 80% a 95% gases com efeito de estufa. De acordo com o “Roteiro nacional de baixo carbono em 2050”, a contribuição de uma potencial eficiência de custos do sector da construção seria uma redução entre 40 a 50% em 2030 e de cerca de 90% em 2050 (European Commission, 2012). O setor da construção também possui um papel importante a desempenhar na adaptação às alterações climáticas e na resistência a desastres, tanto naturais como de origem humana, a longo prazo.

Contudo, o sector da construção é confrontado com uma série de problemas estruturais, tais como a escassez de trabalhadores qualificados em muitas empresas, a sua baixa atratividade para os jovens devido às condições de trabalho, a limitada capacidade de inovação e o trabalho não declarado. De um modo geral, a situação atual da indústria pode ser caracterizada por três elementos básicos. Em primeiro lugar, o sector da construção é um dos mais atingidos pela crise financeira e económica, tal como demonstrado pela redução de 16% entre janeiro de 2008 e novembro de 2011 em toda a UE-27 das obras de construção e infra-estruturas (Eurostat, 2011). Em segundo lugar, há um aumento da concorrência de operadores não-europeus, não só nos mercados internacionais, mas também dentro do mercado interno, nomeadamente no que diz respeito a projetos de infra-estruturas. Esta concorrência externa nem sempre funciona de forma justa, visto que as empresas da UE são frequentemente confrontadas com custos muito superiores do que empresas não europeias. Por fim, as questões energéticas e ambientais criaram uma nova dinâmica entre as empresas e estimularam várias iniciativas do setor público, que se tornaram fatores-chave na competição do mercado (European Commission, 2012).

Para contrariar este pensamento e respetivas consequências, a Comissão Europeia propôs a realização de ações para salientar os benefícios da construção sustentável a longo prazo e a revisão das normas e regulamentos na área da construção, através da incorporação de preocupações associadas à sustentabilidade. Estas medidas implicaram o desenvolvimento de uma metodologia comum a nível europeu para a avaliação do desempenho geral dos edifícios e construções em termos de sustentabilidade, incluindo custos do ciclo de vida a longo prazo. Por conseguinte, foram desenvolvidos ou encontram-se em fase de desenvolvimento uma série de ferramentas e sistemas para avaliação da sustentabilidade. Entre os diversos sistemas para a avaliação da sustentabilidade destaca-se o trabalho realizado pelo Comité Europeu de

Normalização (CEN), o qual permite uma interação entre empreendimentos na Europa, a remoção de barreiras comerciais para a indústria e os consumidores europeus (CEN, 2009). Nesta sequência, no Capítulo 4 desenvolve-se este tema mais detalhadamente.

2.3 Impacte dos edifícios

A importância da avaliação da sustentabilidade encontra-se relacionada com o facto de reunir dados e reportar informações, de modo a servir de base aos processos de decisão que decorrem durante as diferentes fases do ciclo de vida de um edifício (Bragança e Mateus, 2006). Deste modo, destaca-se a importância do estudo da redução dos impactes negativos na etapa de conceção dos empreendimentos, na medida em que é nesta fase que é possível promover soluções minimizadoras para o ciclo de vida de um edifício.

2.3.1 Impacte social

Os edifícios desempenham um papel de grande importância no dia-a-dia da população, visto que as pessoas passam, em média, entre 80 a 90% do seu tempo no interior dos edifícios (Pinheiro, 2006). Com efeito, é fundamental aplicar métodos de construção e de conceção de modo a não prejudicar o bem-estar dos seus ocupantes. Uma má qualidade da construção dos edifícios poderá conduzir a custos elevados de manutenção e ao recurso de sistemas de climatização para as estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão). Para além disso, a utilização de materiais que contenham ou libertem substâncias perigosas (como por exemplo o amianto e COV), a existência de más condições de ventilação, o excesso de humidade e a temperatura inconstante, promovem diversas consequências negativas, sendo a mais relevante a saúde dos utentes dos edifícios (Pinheiro, 2006).

Os edifícios são a identidade de um espaço urbano, os quais representam os padrões tradicionais de uma determinada cultura e englobam um determinado valor histórico e cultural. Neste sentido, é importante a substituição das novas construções pelo desenvolvimento de práticas de reabilitação, tendo o objetivo de preservação, manutenção dos valores estéticos e dos laços sociais e culturais dos edifícios. Os edifícios que não cumpram as funções para as quais foram originalmente construídos, podem sofrer modificações e ser adaptados a novas funções e a diferentes utilidades (Aydin, 2010).

2.3.2 Impacte Económico

A indústria da construção é considerada um dos sectores mais vigorosos em todo o mundo, como já referido, representando um papel de extrema importância ao nível da economia global (Roodman e Lenssen, 1995). Segundo a *European Construction Industry Federation* (2011), a construção representa 9,6% do PIB, 51,5% da Formação Bruta de Capital Fixo, 3,1 milhões de empresas (UE), dos quais 95% são PME com menos de 20 e, para além disso, 7% do emprego total na Europa e 30,7% do emprego industrial. Neste sentido, 43,8 milhões de trabalhadores na União Europeia dependem, direta ou indiretamente, do sector da construção.

O impacte económico dos edifícios está relacionado com os custos associados à totalidade do ciclo de vida dos materiais. Contudo, os materiais e componentes da construção são escolhidos pelos projetistas e promotores com base no seu custo de aquisição. Atendendo a que a vida útil de um edifício convencional se desenvolve normalmente entre os 50 e os 100 anos, constata-se que os maiores investimentos são realizados nas fases de exploração: operação, manutenção e reabilitação (Mateus e Bragança, 2006).

2.3.3 Impacte ambiental

Os impactes ambientais provenientes dos edifícios são cada vez maiores, os quais contribuem para as alterações climáticas e interferem no sistema ecológico, fauna e flora. Deste modo, estes impactes podem ser classificados em três categorias (Pinheiro, 2006):

- i) A Categoria 1 engloba os problemas relacionados com os consumos energéticos, tais como as alterações climáticas e as chuvas ácidas;
- ii) A Categoria 2 é referente a problemas não relacionados com a energia, como é possível verificar através da degradação da camada de ozono e da produção de resíduos;
- iii) A Categoria 3 está relacionada com a destruição dos ecossistemas, incluindo a desflorestação e a desertificação.

O significado, em termos de impacte ambiental, de cada uma destas fases e a importância em cada uma das áreas ambientais, são aspetos interessantes para a compreensão do fenómeno e para uma intervenção fundamentada, que podem ser efetuadas através do LCA.

A Avaliação do Ciclo de Vida é reconhecida internacionalmente como sendo a ferramenta mais abrangente e eficaz para a avaliação do desempenho ambiental dos produtos, pois encontra-se direcionada para considerar diretamente o impacto das emissões geradas e a diminuição dos recursos (Vale e Mateus, 2010). Deste modo, a fim de potencializar o seu uso, os sistemas de classificação devem ser baseados nas mesmas categorias LCA, como futuros indicadores com base na norma CEN. No entanto, atualmente importa salientar algumas limitações importantes associadas a esta abordagem, uma vez que existe apenas um pequeno número de empresas a utilizar declarações ambientais dos seus produtos. A solução proposta para ultrapassar este problema consiste no desenvolvimento e uso de bases de dados com informação LCA de materiais de construção mais usados e seus respetivos componentes (Mateus e Bragança, 2011). Na mesma linha, apresenta-se seguidamente no Quadro 1 a informação referente à base de dados LCA de um edifício em sistema LGSF e a lista de indicadores ambientais e métodos de LCA utilizados para a sua quantificação.

Quadro 1 - Análise de impacto ambiental de ciclo de vida de um edifício de estruturas metálicas leves: LGSF (Sampaio, 2011)

Solução construtiva	Edifício em sistema LGSF							
	Categorias de impacto ambiental de LCA					Energia incorporada		
Fases do ciclo de vida	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Cradle-to-gate	2,40E+02	3,69E+04	2,02E-03	1,42E+02	1,11E+01	1,80E+01	5,08E+05	1,04E+05
Fim-de-vida	-1,26E+02	-8,78E+03	-3,81E-05	-4,38E+01	-9,12E+00	-6,16E+00	1,88E+05	-5,78E+02
Total	1,14E+02	2,81E+04	1,98E-03	9,83E+01	2,01E+00	1,18E+01	3,21E+05	1,03E+05

A quantificação é apresentada para duas fases do ciclo de vida: "cradle to gate" e fim-de-vida. O SBTTool^{PT} utiliza uma abordagem *bottom-up* na quantificação ambiental do edifício. A quantificação inicia-se a partir dos impactes ambientais incorporados nos materiais de construção e termina no todo do edifício (Mateus e Bragança, 2011).

2.4 Dimensões da sustentabilidade

A construção é considerada sustentável quando as dimensões ambiental, económica e social são aplicadas e ponderadas ao longo das várias fases do ciclo de vida dos edifícios, tal como exemplificado na Figura 6 (Bragança, 2005). A sustentabilidade baseia-se no que, muitas vezes, é conhecido como uma abordagem “triple bottom line”, compreendendo uma trilogia de fatores ambientais, sociais e económicos. Com efeito, a construção só poderá ser considerada sustentável se as três dimensões forem tidas em conta, de forma integrada, durante o seu ciclo de vida (Mateus *et al.*, 2008). Olhando para um edifício desta forma, é possível que este tenha uma vida útil superior a 50 anos e milhares de variáveis implícitas, materiais e diferentes questões que requerem uma atenção muito cuidadosa (Gervásio, 2008). Para se obter uma construção sustentável, é necessário pensar e atuar de uma forma holística, considerando todas as dimensões do desenvolvimento sustentável.

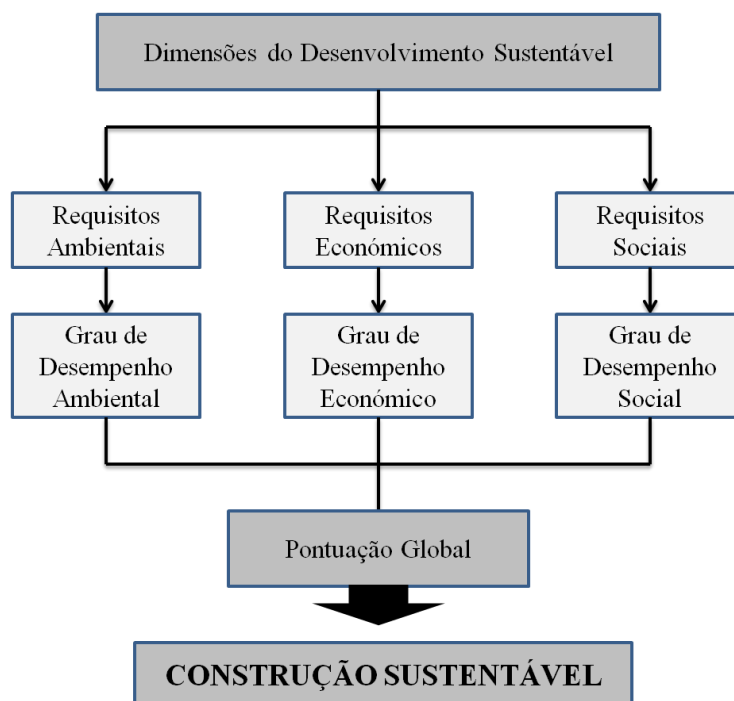


Figura 6 - A abordagem holística para a construção sustentável

O domínio ambiental relaciona-se com a proteção dos recursos, dos ecossistemas e da saúde humana. O pilar económico foca a minimização dos custos, diretos e indiretos, de todo o ciclo de vida de um sistema construtivo, considerando ainda a contribuição para as economias locais, as sinergias entre empresas e as garantias de produtos (Stoy *et al.*, 2008, Ugwu e Haupt, 2007). Quanto à dimensão social, esta possui um cariz mais subjetivo e, por isso, é

mais difícil de quantificar, englobando aspetos de bem-estar, saúde, segurança, conforto, entre outros. A construção sustentável é assim baseada na adoção dos princípios do Desenvolvimento Sustentável em todo o ciclo de vida da construção. Neste sentido, todas as dimensões devem ser consideradas por todas as partes envolvidas na construção durante o seu ciclo de vida. Por outras palavras, ao longo de cada fase de um determinado projeto, é essencial considerar o impacto de cada decisão em todos os outros aspetos do projeto (Ilomaki *et al.*, 2008, Mateus *et al.*, 2008).

A construção sustentável pode trazer diversos benefícios ambientais, económicos e sociais que resultam de uma análise cuidadosa da utilização dos recursos e do modo como o edifício vai afetar o meio ambiente. Por tudo isto, proporcionará diversos benefícios adicionais, assim como a redução de custos operacionais, maior facilidade de construção e aumento da produtividade dos trabalhadores (American Institute of Steel Construction, 2003).

De um modo geral, a sustentabilidade é baseada nas perspetivas de energia e ambiente. Deste modo, existem diversos aspetos relevantes para o projeto de edifícios sustentáveis, tais como a utilização racional da energia. Neste âmbito, pretende-se reduzir o consumo de energia nos edifícios através da utilização de equipamentos mais eficientes e da utilização de energias renováveis. A utilização de tecnologias solares passivas permite tornar os edifícios mais confortáveis e reduzir os consumos energéticos, tirando o máximo partido das técnicas de aquecimento e arrefecimento naturais. Para além disso, também importa salientar a utilização criteriosa dos materiais, uma vez que a seleção de materiais “amigos do ambiente” pode levar a um decréscimo dos efeitos negativos na saúde, minimizar os resíduos, reduzir a energia incorporada nos materiais e eliminar outros impactos a montante da construção. Por outro lado, é importante reduzir o consumo de água no interior e no exterior dos edifícios, através da utilização de equipamentos mais eficientes, da captação e utilização da água das chuvas, da água utilizada em lavagens e da conceção de jardins que necessitem de menos água. O impacto do edifício no local de construção é de grande importância, pois promove a integração no ambiente urbano e protege os ocupantes da poluição sonora. Outros impactos que poderão surgir devem ser analisados cuidadosamente, como, por exemplo, os transportes, a saúde e a segurança (Bragança, 2005).

As atividades associadas à construção de ambientes construídos, infraestruturas e edifícios, bem como os seus efeitos ambientais, variam com as suas tipologias e ao longo da vida das

construções. A forma como, as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas e, finalmente, desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constitui o ciclo completo das atividades construtivas sustentáveis (Pinheiro, 2006). A construção sustentável procura uma maior compatibilidade entre os ambientes artificial e natural sem, contudo, comprometer os requisitos funcionais dos edifícios e dos seus elementos, assim como a viabilidade económica do produto (Bragança e Mateus, 2006).

2.4.1 Medidas para a sustentabilidade

Segundo Pinheiro (2006), para que a sustentabilidade seja aplicada na construção, deverão ser implementadas várias medidas. Por conseguinte, é necessário considerar conceitos bioclimáticos no projeto e minimizar o uso de recursos minerais não-renováveis, energia e água, bem como escolher recursos, processos e materiais de baixo impacto ambiental. Assim, deverão ser selecionados os materiais de acordo com o uso de energia e de maior eco compatibilidade (biomateriais), de modo a otimizar a vida útil das edificações (isto é, projetar visando a maior durabilidade possível) e proporcionar um aumento da vida útil dos materiais (isto é, projetar em função da valorização dos materiais). Para além disso, devem ser garantidas plenas condições de segurança no trabalho a todos os profissionais envolvidos, implementar um plano de gestão de resíduos na obra e promover a reutilização na obra sem prejudicar a sua qualidade e segurança ou enfatizando a responsabilidade pelo destino adequado dos resíduos e facilitando a “desconstrução” (isto é, projetar de forma a possibilitar a separação dos materiais para o reaproveitamento e a reciclagem).

O Conselho Internacional para a Investigação e Inovação em Construção (CIB) decidiu, em 1995, tornar a construção sustentável o ponto fulcral de um período de três anos (até ao Congresso mundial de 1998). A Agenda 21 sobre Construção Sustentável foi publicada em 1999 a fim de criar um quadro baseado no consenso e de fornecer uma perspetiva detalhada de conceitos, problemas e desafios do desenvolvimento e construção sustentável. Três tipos principais de estratégias foram apresentados pela CIB como uma resposta aos desafios de sustentabilidade, tal como ilustrado na Figura 7 (Koukkari, 2011).

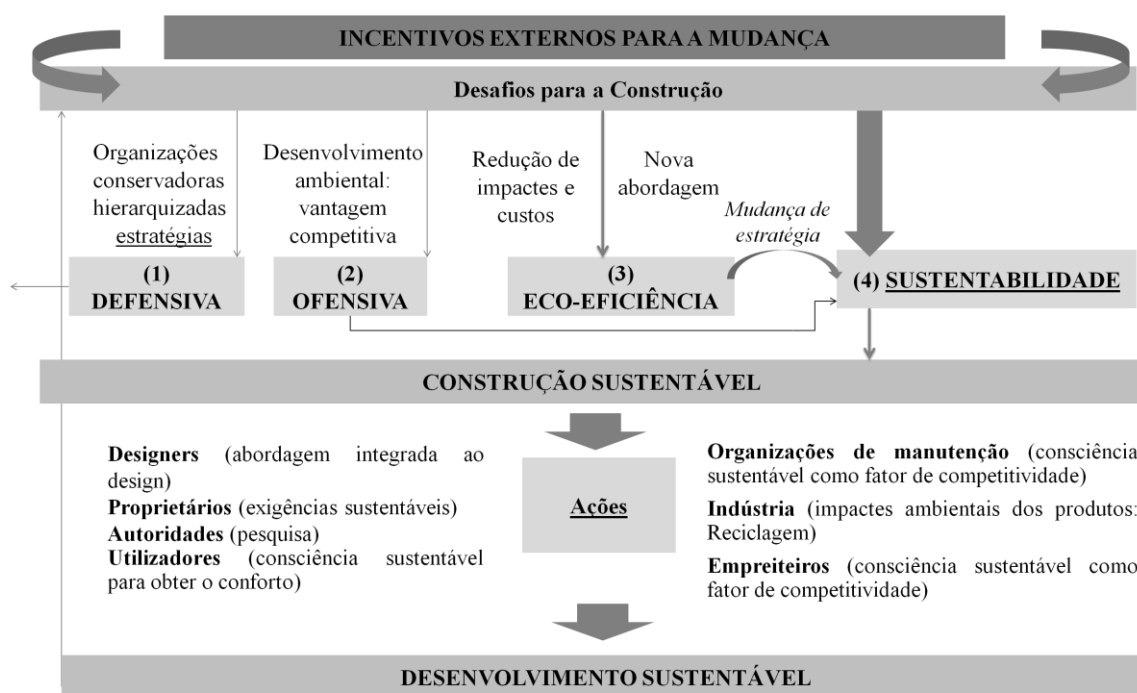


Figura 7 - Desafios e Ações – Agenda 21 para Construção Sustentável (CIB, 1999)

O conceito de sustentabilidade nos edifícios compreende os indicadores-chave de que um projeto de construção ou de restauração pode ser direcional e, mais tarde, o desempenho geral de um edifício já construído pode ser monitorado e avaliado (Huovila, 1999).

A construção sustentável dispõe de diferentes abordagens e prioridades nos diferentes países. Alguns identificam aspetos económicos, sociais e culturais como parte do conceito de construção sustentável, sendo que apenas alguns países os consideram como aspectos essenciais. Os problemas da pobreza e subdesenvolvimento ou equidade social são, por vezes, ignorados na abordagem à construção sustentável (Pinheiro, 2006).

A importância destes vários aspetos (Quadro 2) associa-se a fatores como a densidade populacional, a demografia, a economia nacional, o nível de vida, a geografia, os riscos naturais e humanos, a disponibilidade de energia, a água, a alimentação, a estrutura do sector da construção ou a qualidade das construções existentes, para completar a interpretação nacional da definição considerada e as respetivas abordagens (Pinheiro, 2006).

Quadro 2 - Aspetos relevantes da construção sustentável (adaptado de CIB, 1998)

ÁREA	QUESTÕES PRINCIPAIS	CONSEQUÊNCIAS
Ocupação do Solo	Uso eficiente do solo	Edifícios multifuncionais.
	Longevidade dos edifícios	Desenho com vista à flexibilidade / adaptabilidade; Desenho com vista a um desempenho de elevada qualidade durante todo o ciclo de vida;
		Utilização dos instrumentos de Análise do Ciclo de Vida: <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) e <i>Life Cycle Cost</i> (LCC);
		Compreensão.
	Escolha do local	Consideração do contexto local (clima, topografia, impacte visual, ruído, economia local).
	Aproveitamento dos edifícios existentes	Aumento das atividades de reabilitação e recuperação.
Energia	Proteção da natureza	Proteção da flora e vida selvagem.
	Minimizar as necessidades de utilização de transportes privados	Educação dos ocupantes dos edifícios.
	Edifícios energeticamente eficientes	Desenho integrado para a eficiência energética; Utilização de fontes de energia renovável; Garantia da qualidade do ambiente interior.
		Iluminação natural/iluminação passiva; Aquecimento/arrefecimento passivo.
	Locais de construção energeticamente eficientes	Diminuição das necessidades do transporte para o local.
Água	Otimização do consumo de energia	Utilização de sistemas de gestão energética.
	Poupança de água potável	Reutilização das águas de lavagem.
	Otimização do consumo de água	Utilização de sistemas de gestão da água; Aproveitamento de água da chuva.
Materiais	Gestão dos resíduos	Sistemas integrados de recolha de resíduos; Gestão local dos resíduos de construção
	Materiais não tóxicos e controlo climático	Maior consideração da toxicidade ambiental e ocupacional dos materiais
	Edifícios recicláveis e reutilizáveis	Projeto e construção com consideração do destino final
	Utilização eficiente de matérias-primas	Utilização de materiais locais e de métodos de construção tradicionais;
		Aumento da utilização de materiais renováveis; Utilização de técnicas de desconstrução apropriadas de forma a otimizar a reciclagem.
	Aumento da vida útil dos edifícios	Adaptação dos edifícios às necessidades futuras dos seus ocupantes.
Outros	Otimização do processo do edifício	Aumento das parcerias entre projetistas, fabricantes, construtores, etc.

CAPÍTULO 3 - CONTRIBUTO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA PARA A SUSTENTABILIDADE

3.1 Evolução das estruturas metálicas em edifícios

Em Portugal, a execução da estrutura dos edifícios é, até à data, feita abundantemente em betão armado. Ao longo do tempo, os inconvenientes associados a este material foram-se detetando. Na fase de construção é produzida uma grande quantidade de desperdícios e aquando o fim do ciclo de vida a utilização de processos complexos e dispendiosos necessitam de grande quantidade de energia, tornando este material incompatível com os desígnios de sustentabilidade da construção (Meyer, 2002). O que acontece no fim da vida útil do produto não é geralmente mencionado ou tido em consideração. A maioria dos materiais, como é por exemplo o caso do betão, acabam em aterros sanitários ou são triturados para aplicação na construção de estradas, o que permite que estes sejam de novo um agregado no entanto, a energia incorporada no cimento não é reversível, de acordo com o apresentado na Figura 8 (Clercq, 2012). Ao longo do tempo, a sustentabilidade tornou-se fulcral para a indústria da construção, podendo dizer-se que a sustentabilidade se encontra no centro das atenções a par das emissões de dióxido de carbono. O aço, como material de construção, tem vantagens inegáveis e inerentes a este respeito, devido ao seu grande potencial de reciclagem. Contudo, a quantificação dos benefícios é um dos pré-requisitos essenciais para melhorar o sucesso do aço na construção (Vassart, 2011).

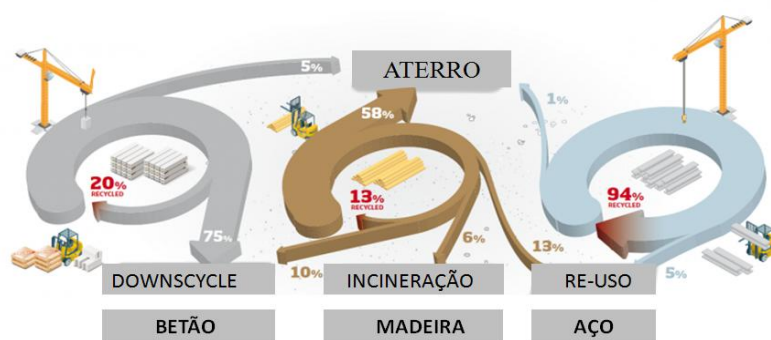


Figura 8 – Cenários de fim do ciclo de vida de materiais (Adaptação: worldsteel, 2011)

Em 1786, três cientistas franceses, Berthollet, Monge e Vandermonde, definiram a relação Ferro, Ferro Fundido e Aço, assim como o papel do carbono na preparação e características destes três materiais. No entanto, só com as grandes evoluções no século XIX (os fornos de Bessemer, Thomas e Martin), o aço, que até essa altura era manufacturado a partir do ferro em pequenas quantidades, teve um crescimento significativo e tornou-se rapidamente no metal mais importante da Revolução Industrial. No início do século XX, a produção mundial de aço totalizava 28 milhões de toneladas sendo, por exemplo, seis vezes mais do que em 1880. No início da 1ª Guerra Mundial, a produção de aço era já de 85 milhões de toneladas. Em algumas décadas, o aço permitiu que os equipamentos utilizados na manufactura se tornassem mais resistentes e substituiu o ferro na maior parte das suas aplicações (CMM, 2007).

Hoje, em todo o mundo, o aço é um dos materiais mais resistentes e duráveis. O aço é produzido em cerca de 100 países e a sua idade remonta o século XIX. Nesta época, a evolução tecnológica para a produção em massa de aço possibilitou novas aplicações, como em ferrovias e em automóveis. Este material data de há três mil anos atrás. Em 2000, o valor estimado de produção de aço no mundo foi de cerca de 200 biliões (International Iron and Steel Institute, 2002). Em 2010, a UE foi o maior produtor mundial de aço, representando 12,2% da produção mundial (World Steel Association, 2011). Neste âmbito, as estatísticas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) indicam um crescimento de 12% em 2009 face a 2002 em construções pré-fabricadas, estruturas, pontes e torres (CBCA, 2012). No entanto, um crescimento muito pequeno na Europa tem contrastado com a participação da China, a qual ampliou a sua capacidade de produção de uma forma radical, o que permitiu responder a uma elevada necessidade de crescimento no país e reforçar a sua posição em mercados estrangeiros. Em geral, o aço na UE decresceu 1,2% em 2012, mas é estimada uma modesta recuperação de 3,3% em 2013 (European Commission, 2012).

Embora a percentagem de produção dos materiais tende a mudar ao longo do tempo, devido a diversos fatores (por exemplo, variação de preço), a magnitude da produção de aço no mundo em relação a outros materiais é evidente. Por consequência, o aço é inevitavelmente um material essencial para a sociedade e para o desenvolvimento sustentável (International Iron and Steel Institute, 2002).

3.1.1 O aço e os edifícios

O aço é constituído por uma liga de ferro e carbono, contendo menos de 2% de carbono e 1% de manganésio e pequenas percentagens de silício, fósforo, enxofre e oxigénio. Em 1856, Henry Bessemer surgiu com o material “aço”. Henry Bessemer fundou a *Bessemer Steel Company* em Sheffield, Inglaterra, sendo o aço produzido através da passagem de um caudal de ar através de uma carga de ferro fundido, de forma a oxidar o material e separar as impurezas, o qual ficou conhecido como o processo *Bessemer*. Ainda hoje o aço é produzido com tecnologia baseada neste processo. Atualmente o aço é produzido através de dois processos básicos, um deles a partir de matérias-primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno ou a partir de sucata em forno elétrico de arco. Cerca de 60% do aço produzido atualmente é feito pelo primeiro processo, também conhecido por processo integrado (Gervásio e Silva, 2002).

Normalmente, a palavra “aço” sugere a ideia de um material pesado e difícil de trabalhar. No entanto, o aço (galvanizado) é utilizado na construção de moradias contrariando essa ideia (Steel Portugal, 2009). A utilização do aço em estruturas de edifícios contribui para os objetivos da construção sustentável em dois aspetos principais: (i) as estruturas metálicas são facilmente adaptáveis a novas exigências funcionais que eventualmente ocorram durante a vida útil das mesmas; (ii) o aço é um material totalmente reciclável contribuindo desta forma para a manutenção dos recursos naturais e para a redução de resíduos sólidos derivados da demolição (Martins *et al.*, 2004).

O aço é um material muito utilizado no ramo da construção civil e a ele estão associadas funções essencialmente de desempenho estrutural. O sector da construção metálica está relacionado com os sectores residencial, comercial e industrial. De entre as várias infraestruturas realizadas em estrutura metálica destacam-se as pontes (Figura 9), os edifícios (Figura 10), as estações ferroviárias (Figura 11), os estádios (Figura 12), entre outras.



Figura 9 - Ponte Octávio Frias, São Paulo



Figura 10 - Edifício em construção metálica em Felgueiras



Figura 11 - Estação ferroviária de Liège, na Bélgica



Figura 12– Estádio Olímpico de Londres

A minimização dos impactes provocados pela fase de construção, a interferência na comunidade local e a redução da produção de resíduos representam algumas das principais prioridades da construção sustentável. Os impactes causados durante uma obra são, geralmente, o ruído, as poeiras, a poluição e o congestionamento do tráfego. A construção metálica possibilita a produção do aço em fábrica minimizando, assim, esses impactes e possibilitando uma maior qualidade, eficiência, segurança e rapidez na produção dos seus componentes. A construção em fábrica possibilita ainda benefícios sociais para os seus trabalhadores visto que melhora e assegura as condições de trabalho (Burgan e Sansom, 2006).

Em vez de se proceder à demolição, como é comum nas construções em betão armado, um determinado edifício em estrutura de aço pode ser estendido vertical ou horizontalmente com o mínimo de perturbações para os envolventes na construção e vizinhos. Grandes vãos podem ser conseguidos por desenho, utilizando a quantidade mínima de aço estruturalmente eficientes. Os edifícios em aço podem ser mantidos com uma boa aparência ao longo do seu ciclo de vida, podendo ser atualizados com novas fachadas e outros elementos arquitetónicos (Podpora *et al.*, 2011).

O aço é caracterizado como uma solução mais sustentável e um material adaptável e flexível o que o torna um bom investimento para as empresas. Uma construção com uma armação de aço estrutural pode ser fácil e economicamente adaptada à evolução das necessidades, tornando-se uma vantagem importante da sustentabilidade (BCSA *et al.*, 2012).

Nos últimos anos, o interesse na construção metálica sustentável tem crescido drasticamente. Vários projetos de investigação nacionais e europeus têm utilizado métodos e tecnologias de construção energeticamente eficiente, eco-eficiente e sustentável, aplicados à construção metálica. O Instituto Sueco de Construção em Aço (SBI), o Centro Técnica Industrial de Construção Metálica (CTCIM) e o Instituto de Construção em Aço (SCI) desenvolveram serviços de avaliação e certificação da construção sustentável. Os grandes edifícios de aço construídos com base na sustentabilidade, eco-eficiência e na eficiência energética encontram-se, por exemplo, no Luxemburgo, Berlim, Zurique e Scheffiel. Muitos edifícios existentes em estruturas de aço têm sido alargados como por exemplo a Universidade de Nápoles "Federico II" (Koukkari, 2011).

Um edifício tem propriedades funcionais e determinadas influências que não podem ser explicadas simplesmente por adição e multiplicação. Os edifícios compreendem vários sistemas e uma infinidade de produtos. Os impactos dependem do nível de construção e questões como a localização e a orientação. A maior parte dos impactos do consumo de energia surge durante a fase operacional de um edifício. Consequentemente, muitos métodos de avaliação desenvolvidos até à data seguem uma abordagem simplificada (Leitner *et al.*, 2010).

Os impactos ambientais podem ser registrados através de uma série de fluxos (por exemplo, emissões para a atmosfera e para a água), bem como através do Inventário do Ciclo de Vida (LCI), em que esses fluxos são registrados a partir de recursos da terra até um limite definido (por exemplo, a porta de uma fábrica). Para avaliar o LCI é necessário considerar todas as etapas que o material sofre desde a fabricação inicial, uso, reuso e reciclagem até a disposição final. Através de um pensamento a longo prazo, os materiais apresentam uma carga ambiental para a sociedade com base no número de ciclos de produtos. Esta abordagem considera múltiplos ciclos de vida sobre os impactos ambientais de um material (Brimacombe *et al.*, 2002).

Por outro lado, uma LCA de um sistema construtivo consiste na compilação e avaliação de todos os fluxos (entradas e saídas) e dos potenciais impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se às diversas fases ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo, desde a sua construção, utilização, manutenção e demolição final, incluindo a aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação dos diversos materiais, como é possível verificar através da Figura 13 (Koukkari, 2011).



Figura 13 - Ciclo de vida dos produtos siderúrgicos (worldsteel, 2011)

O LCA é uma análise mais completa que permite ter em conta os balanços ambientais existentes entre as diversas fases ao longo do ciclo de vida de um sistema construtivo, o que permite, por exemplo, ter em consideração a alocação da reciclagem do aço no fim de vida de uma estrutura.

Com a finalidade de tornar o aço num material mais ecológico e “amigo do ambiente”, as grandes siderurgias mundiais têm vindo a implementar várias medidas no sentido da preservação ambiental. Os aspetos de maior preocupação são a diminuição do consumo de energia e a redução da emissão de gases com efeito de estufa, nomeadamente de dióxido de carbono (Gervásio, 2008). O aumento da energia e da eficiência nos recursos da produção de aço permitem avanços significativos na sustentabilidade da indústria do aço. Um foco de desenvolvimento de tecnologia é a fusão de aço. Esta fusão envolve o vazamento direto de aço fundido para tiras de aço sólido, evitando a necessidade de laminagem a quente e a frio

para se obter a forma final com respetiva espessura. A introdução dessa tecnologia permite reduzir cerca de 81% a 89% em comparação com a fusão convencional (International Iron and Steel Institute, 2002).

Nas siderurgias a emissão de dióxido de carbono é o fator mais preocupante. No entanto, a indústria de produção do aço está determinada em reduzir a emissão destes gases e em tornar mais eficientes os seus processos de produção. Com este objetivo têm sido desenvolvidos diversos programas de investigação em todo o mundo, nomeadamente o programa europeu ULCOS (*Ultra Low CO₂ Steelmaking*) que tem como principal objetivo o desenvolvimento de novas formas de produção de aço com reduzidas emissões de gases com efeito de estufa. Outras medidas têm sido desenvolvidas, tais como tecnologias com recurso a percentagens mínimas de carbono (*carbon-light*) combinadas com a captação e armazenamento de CO₂, e recurso a energias alternativas tais como gás natural, hidrogénio, biomassa e electricidade (Gervasio, 2008).

Na Strategic Research Agenda (SRA) da UE as recomendações relativas à investigação e desenvolvimento da construção de aço foram apresentados em dois temas principais: a segurança e sustentabilidade. Estes temas são naturalmente semelhantes em muitos pontos mas, por outro lado, eles incorporam métodos e abordagens diferentes. A SRA sublinhou que a construção de aço sustentável é atingida mais facilmente através de um desenvolvimento simultâneo de materiais, produtos e processos. Por tudo isto, os métodos para avaliar e verificar os objetivos de sustentabilidade devem ser desenvolvidos e partilhados, a fim de implementar práticas sustentáveis. De acordo com estes objetivos, o *Research Fund for Coal and Steel* (RFCS) teve como prioridade, nos últimos dois anos, a sustentabilidade e a eficiência energética (Koukkari, 2011). O Instituto de Aço Reciclado (SRI) é uma associação da indústria que promove e sustenta a reciclagem de todos os produtos siderúrgicos. A SRI incute aos governos, empresas e aos consumidores finais os benefícios do ciclo infinito de reciclagem de aço (American Institute of Steel Construction, 2003).

O aço é o material mais reciclado da América do Norte. Anualmente, este material é reciclado mais do que o papel, plástico, vidro, alumínio e cobre, isto porque os resíduos de aço (sucata) são uma matéria-prima essencial na produção de aço novo. Este processo de reciclagem de aço permite economizar energia, reduzir as emissões e conservar os recursos naturais (American Institute of Steel Construction, 2003). Neste sentido, em 2003 o *International Iron*

and Steel Institute (IISI) definiu 11 indicadores de sustentabilidade (Quadro 3), os quais podem ser utilizados para medir o desempenho da indústria mundial do aço, a nível económico, ambiental e social. Nestes indicadores destacam-se os indicadores que medem o desempenho ambiental, tais como a emissão de gases, o efeito de estufa, a eficiência dos materiais, a intensidade energética, a reciclagem do aço e os sistemas de gestão ambiental (Gervásio e Silva, 2002).

Quadro 3 – Indicadores de Sustentabilidade (IISI, 2003)

Indicadores	
1	Investimento em novos processos e produtos
2	Resultado operacional
3	Retorno do capital
4	Valor adicionado
5	Emissão de gases
6	Eficiência dos materiais
7	Intensidade energética
8	Reciclagem do aço
9	Sistemas de gestão ambiental
10	Efeito de estufa
11	Taxa de tempo desperdiçado devido a acidentes

3.1.2 O aço *versus* o betão em Portugal

O betão é ainda o material base nas principais soluções construtivas da construção portuguesa. Esta hegemonia deve-se principalmente às suas elevadas potencialidades, associadas a um custo bastante competitivo quando comparado com outras soluções. Contudo, a “verdadeira inovação” na Construção passará pela descoberta e desenvolvimento de um material que substitua o betão e que seja uma mais-valia sob o ponto de vista económico e ambiental.

Ao longo de décadas de utilização do betão foram sendo identificados os seus inconvenientes. Na fase de construção, os trabalhos em betão armado são responsáveis pela produção de grandes quantidades de desperdícios, sendo uma das maiores fontes de resíduos na construção convencional. Por outro lado, o betão, no final do seu ciclo de vida, não apresenta grandes potencialidades de vir a ser reciclado, a não ser através de processos muito complexos e dispendiosos que necessitam de grande quantidade de energia, o que torna este material

incompatível com os desígnios de sustentabilidade da construção. Em contrapartida, o aço é um material de construção com inúmeras vantagens. O aço é versátil, tem uma boa aparência, tem qualidade, durabilidade e é económico. Para além disso, é um material imprescindível em áreas sísmicas. A sua flexibilidade combinada com a sua resistência permite uma redução dos impactes ambientais. O período de construção de edifícios em betão é até duas vezes mais longo do que a construção de edifícios em aço. O reduzido tempo de construção aquando a utilização de aço permite também vantagens nas maiores cidades, onde os edifícios são próximos uns dos outros, o tráfego é limitado e o acesso para os equipamentos de construção é difícil. Neste sentido, “tempo é dinheiro”. Por tudo isto, o betão possui vantagens no que diz respeito à durabilidade e resistência mas as estruturas de aço, para além disso, são também de montagem muito mais rápida e a construção pode ser concluída com maior rapidez. Assim, reduz o custo de remuneração do trabalho, reduz os custos dos equipamentos de construção de estruturas metálicas alugados, entre outros. Deste modo, a utilização deste material significa o crescimento da produtividade, o que faz com que seja um material de construção viável hoje e no futuro (Jansson, 2011). Contudo, para além das inúmeras vantagens que o aço possui comparativamente com o betão, o betão é também um material com vantagens relevantes para o sector da construção, daí ser uma material continuamente utilizado pelos envolventes da construção. Uma dessas vantagens é a resistência a efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos. Para além disso, a manutenção e conservação das estruturas em betão são praticamente nulas, em associação à sua grande durabilidade. Neste sentido, é uma excelente solução para se obter de modo direto e sem necessidade de posteriores ligações, sendo uma estrutura monolítica, hiperestática apresentando, por esta razão, maiores reservas de segurança. No entanto, as desvantagens a que lhe estão associadas são relevantes, desde as dificuldades para as reformas ou demolições que oferece, vindo a exigir a aplicação de produtos com esta finalidade (normalmente em associação à obtenção de boa impermeabilização) sobre coberturas, à fissuração da região tracionada em peças de betão durante muito tempo.

O aço possui cada vez mais argumentos do que o betão quanto ao que é o material de construção mais sustentável para todos os setores do mercado de construção (Corus, n.d.).

3.2 Vantagens da Construção em Estrutura Metálica

A escolha da estrutura primária de um edifício é de grande importância assim como as condições de funcionalidade, flexibilidade, desempenho, tempo de construção e o custo total de construção do edifício (Haroglu *et al.*, 2009). As estruturas metálicas são consideradas mais vantajosas do que as estruturas convencionais (por exemplo, de betão). Deste modo, é possível indicar diversas vantagens deste tipo de estruturas (Met@lica, 1999).

O aço é um material com inúmeras vantagens, tais como a sua capacidade de maior resistência comparativamente com, por exemplo, o betão armado. Este material permite a execução de elementos estruturais de menor secção e, por conseguinte, de menor massa, o que permite a construção de estruturas mais leves e de maiores dimensões, consumindo menor quantidade de matéria-prima. Para além disso, é um material com grande capacidade de reciclagem ou de reutilização. Há alguns anos atrás, o aço foi o mais reciclado relativamente aos outros materiais em conjunto, e cerca de 60% do aço em novas utilizações deveu-se aos resíduos de construção e à demolição (OWP/ P, 2004).

As estruturas de aço proporcionam, em associação com outros materiais, um projetar de edifícios com baixos impactes ambientais globais. No fim da vida útil das construções, os componentes de aço podem ser facilmente desmontados e os produtos de aço podem ser recuperados (reutilizados ou reciclados) sem degradação das propriedades (Podpora *et al.*, 2011). Os sistemas de construção à base de aço proporcionam espaços flexíveis que possuem um potencial de ser facilmente modificados e adaptados sem interferir ou prolongar o ciclo de vida do edifício. O aço contribui para soluções inovadoras, incluindo componentes desmontáveis e reutilizáveis, redução do volume de material através da utilização de elementos mistos ou soluções inovadoras estruturais (Podpora *et al.*, 2011). Para que os edifícios tenham um elevado desempenho é aplicada uma nova tecnologia de aço, ou seja, utilizam-se componentes industrializados, realizados por processos de fabrico modernos. As soluções de construção com estrutura em perfis metálicos constituem uma das soluções que podem ser aplicadas na procura da sustentabilidade. O uso de estruturas leves representa uma diminuição do consumo de matérias-primas, a utilização de materiais ecológicos e a industrialização do processo de construção, tal como exemplificado na Figura 14 (Andrade, 2011).



Figura 14 - Edifício em estrutura metálica na Batalha

Para além dos benefícios já apresentados, enumeram-se de seguida outros, que contribuem vivamente para que a construção em estrutura metálica seja uma escolha de referência na procura da sustentabilidade na construção.

Racionalização de materiais e mão-de-obra

Numa obra, através de processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura metálica possibilita a adoção de sistemas industrializados fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido (Met@lica, 1999).

Alívio de carga nas fundações

Como são estruturas mais leves podem reduzir até 30% o custo das fundações (Met@lica, 1999).

Liberdade no projeto de arquitetura

A tecnologia do aço confere liberdade aos arquitetos relativamente ao projeto do edifício, permitindo a elaboração de projetos arrojados (Figura 15) e com expressão arquitetónica marcante (Met@lica, 1999).



Figura 15 – Torre Eiffel

Maior área útil

As secções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em betão, resultando num melhor aproveitamento do espaço interno e um aumento da área útil (Figura 16), o que é bastante importante nos compartimentos dos edifícios, principalmente em garagens (Met@lica, 1999).



Figura 16 – Shopping de Brasília

Garantia de qualidade

A produção de uma estrutura metálica ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que oferece ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controlo existente durante todo o processo industrial (Met@lica, 1999).

Compatibilidade com outros materiais

O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer outro tipo de material (Figura 17), admitindo desde os mais convencionais (tijolos, blocos) até pré-fabricados (lajes e painéis de betão, entre outros) (Met@lica, 1999).



Figura 17 - Schüco Technology Center, Bielefeld, Alemanha

Segurança

Como já referido, o fabrico do aço para os elementos estruturais ocorre em ambientes seguros, em fábrica. As estruturas de aço são colocadas em obra através de mão-de-obra qualificada e, geralmente, por um pequeno número de trabalhadores. No local de obra, os processos de corte e ajuste das estruturas são desnecessários, assim como, trabalhos de cofragem potencialmente perigosos e operações de movimentação relacionadas com outros materiais de construção (CORUS e BCSA, 2009).

Produção em fábrica

Todos os produtos de construção de aço são fabricados fora do local, ou seja, em fábrica. De entre os benefícios resultantes destaca-se a eliminação de resíduos no local. Os trabalhadores adquirem benefícios relativos à saúde e segurança no trabalho, em comparação com um ambiente local mais tradicional. Garante portanto prazos previamente definidos, não havendo interferência das alterações climáticas e as entregas das estruturas em aço atendem às exigências do local. A sua destacável flexibilidade permite comodidade aos ocupantes e futuras alterações de utilização. Além disso, as estruturas de aço podem ser projetadas para serem facilmente desmontadas e transferidas (Corus, 2010). A Figura 18 reflete as características descritas neste ponto.



Figura 18 – Produção de estruturas metálicas em fábrica

Antecipação do ganho

Em função da maior velocidade de execução da obra haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido (Met@lica, 1999).

Flexibilidade

A estrutura metálica mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios (Figura 19). Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como a água, o ar condicionado, a eletricidade, entre outros (Met@lica, 1999).



Figura 19 – Montagem de uma estrutura metálica

Menor prazo de execução

Produção da estrutura em paralelo com a execução das fundações, possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, diminuição de formas e escoramentos e o facto da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas pode proporcionar uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais (Met@lica, 1999).

Adaptável

Na fase de demolição, os edifícios convencionais geram grandes quantidades de resíduos/materiais que, na generalidade, não podem ser utilizados para outros edifícios. No entanto, o aço moldado, utilizado em edifícios metálicos, é facilmente adaptável se a configuração do edifício necessitar de ser alterada. As estruturas de aço podem ser facilmente readaptáveis com a inclusão ou exclusão de peças e o seu baixo peso possibilita a adição de pisos extra sem sobrecarregar os alicerces existentes (CORUS e BCSA, 2009).

Organização do estaleiro

Como a estrutura metálica é totalmente pré-fabricada há uma melhor organização do estaleiro devido, principalmente, à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor produção de entulho (Figura 19) oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador contribuindo para a redução dos acidentes na obra (Met@lica, 1999).

Desmontável

As estruturas de aço têm a capacidade de serem totalmente desmontadas e reconstruídas em locais diferentes, sem criar impactes significativos como poeira, poluição e ruído. Por este facto, na fase final do ciclo de vida é possível a desmontagem de estruturas que não são necessárias, podendo proceder-se à reconstrução de um edifício a partir da estrutura desmontada de aço, num outro local. Esta possibilidade é uma das formas mais sustentáveis de construção (CORUS e BCSA, 2009, *Living Steel*, 2010, Gervásio, 2008).

Reciclabilidade

O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas. O aço tem a característica de poder ser reciclado várias vezes sem nunca perder as suas qualidades enquanto material de construção. Assim, mantém o seu alto desempenho ao longo de todas as suas fases de ciclo de vida (CORUS e BCSA, 2009).

Resíduos Zero

O aço utilizado em edifícios raramente é transformado em resíduo. Isto deve-se ao elevado potencial de reciclagem do aço daí o aterro ser um dos últimos recursos. A construção sustentável dá grande relevância à minimização da produção de resíduos e o aço responde nesse sentido. Mesmo durante a produção de aço, as aparas e sobras são recuperadas e recicladas noutros processos siderúrgicos (CORUS e BCSA, 2009). Neste âmbito, determinados materiais, tais como os metais, são verdadeiramente recicláveis, isto é, eles podem ser facilmente reciclados e aplicados a novos produtos com a mesma qualidade e função (BCSA *et al.*, 2012).

Preservação do meio ambiente

A estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente pois, para além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de partículas e a poluição sonora gerados pelos equipamentos utilizados (Met@lica, 1999).

Precisão construtiva

Enquanto nas estruturas de betão a precisão é medida em centímetros, numa estrutura metálica a unidade utilizada é o milímetro. Isto garante uma estrutura perfeitamente apurada e nivelada, facilitando atividades, como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores bem como a redução no custo dos materiais de revestimento (Met@lica, 1999).

Reutilizável

Os componentes metálicos usados na construção são, essencialmente, um conjunto de peças que podem ser desmontados e reutilizados facilmente. Isto deve-se ao facto das ligações entre os elementos serem realizadas essencialmente por aparafusamento (Figura 20). Esta característica permite que componentes de um edifício em desmantelamento possam ser transferidas e utilizadas num outro local/edifícios onde sejam necessárias (CORUS e BCSA, 2009).

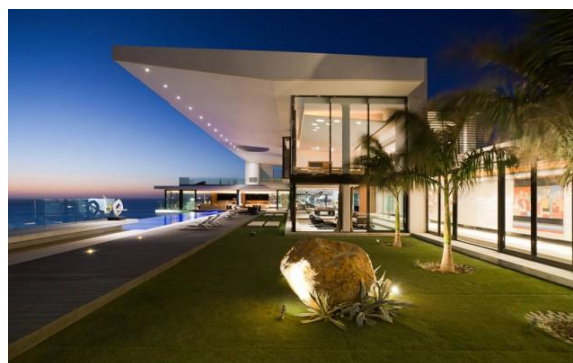


Figura 20 - Estrutura com reutilização de componentes em aço

"A importância do uso do aço pode ser observada na construção civil principalmente, em substituição a elementos convencionais como o betão (Figura 21)" (Met@lica, 1999).



(a)



(b)

Figura 21 - Edifício unifamiliar: (a) Estrutura tradicional em betão; (b) Estrutura metálica

Sucintamente, as estruturas metálicas são estruturas que implicam a pré-fabricação conduzindo desta forma a um processo de construção mais eficiente, a uma maior rapidez de construção e à minimização dos riscos e prejuízos da obra e do estaleiro. Simultaneamente, sendo estruturas relativamente leves, conduzem à construção de fundações mais reduzidas, permitindo a preservação do solo de fundação e a redução da movimentação de terras (Gervásio, 2008).

3.3. O Futuro do Aço

As exigências para os metais têm vindo a aumentar ao longo do tempo devido a um progressivo aumento do mercado da construção. Tal facto desencadeará o desaparecimento de alguns minerais importantes num futuro próximo. Como é utilizado cerca de 40% do aço e 35% de cobre na construção, o minério disponível tende a desaparecer em algumas dezenas de anos, de acordo com Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS, 2010).

Com efeito, o setor siderúrgico depara-se com uma situação problemática devido à crescente necessidade e capacidade de concorrência de determinados países, como a China, a Índia e o Brasil. A produção de aço bruto caiu cerca de 24,3% em 1997 para 16% em 2007 (Ecordys, 2008). Além de matérias-primas, a UE depende fortemente de matérias-primas secundárias. A utilização da reciclagem de resíduos aumentou significativamente nas últimas décadas e atualmente representa 40% a 60% do contributo para a produção comunitária de metal. No entanto, o acesso aos desperdícios também está a tornar-se dificultado (Podpora *et al.*, 2011). A competitividade global dos edifícios de aço é determinada por uma ampla gama de fatores socioeconómicos, organizacionais, culturais e tecnológicos (Ecordys, 2008). Com efeito, a inovação gera uma melhoria no desempenho ambiental, mas também obtém efeitos positivos sobre os fatores económicos e sociais da abordagem *triple bottom line*. Michael Sansom, gerente do grupo de sustentabilidade Steel Construction Institute, admite que a sustentabilidade é um problema incrivelmente complexo. Ele acrescenta: que alcançar a verdadeira sustentabilidade é quase como uma utopia. Mas quando se observa o amplo conceito e benefícios da sustentabilidade, o aço é considerado uma solução para tal utopia (Corus, 2010).

CAPÍTULO 4 - CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS

4.1 Fases do ciclo de vida

A importância da avaliação da sustentabilidade está relacionada com o facto de reunir dados e reportar informação de modo a servir de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício (Bragança e Mateus, 2006). Várias empresas detetaram como é vantajoso solucionar os problemas relacionados com o impacto ambiental. Deste modo, recorreram à utilização de determinadas ferramentas, sendo uma delas a avaliação do ciclo de vida (EPA, 2006). A metodologia foi desenvolvida e utilizada ao longo de dezenas de anos contudo só foi normalizada em 1990 pela Organização Internacional de Normalização (ISO14040-42).

A metodologia LCA constitui uma abordagem complexa envolvendo essencialmente 4 fases (Figura 22): Definição do objetivo e âmbito, análise do inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados (ISO 14040: 2006).

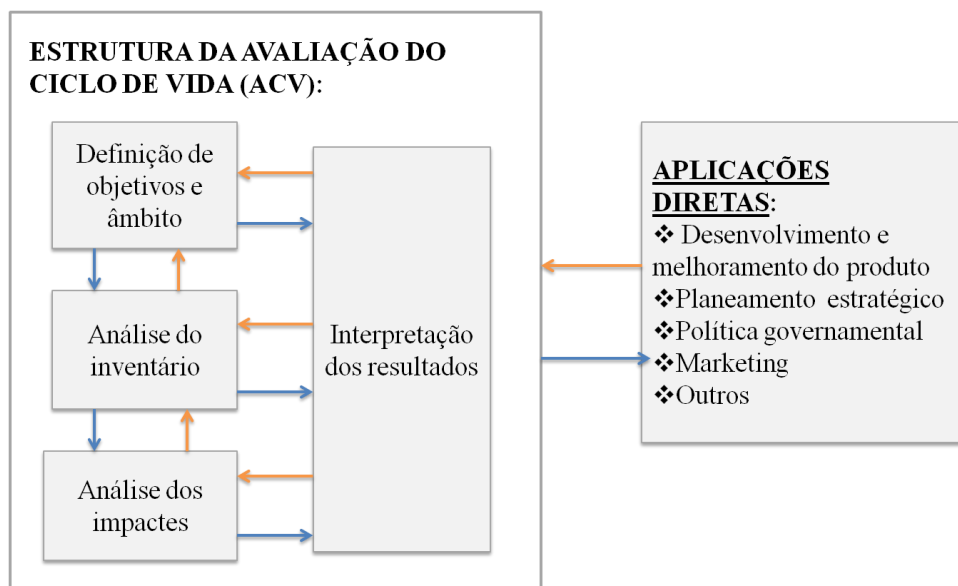


Figura 22 - Fases de uma análise ciclo de vida (ISO 14040, 2006)

Os sistemas LCA têm aplicação nas fases de ante-projeto e projeto e, atualmente, avaliam quer o impacto ambiental dos materiais e produtos desde a extração até à devolução ao ambiente, quer o desempenho económico, fundamental ao conceito de sustentabilidade. Através da aplicação de LCA é possível otimizar os indicadores ambientais, sociais e económicos, desde a extração de matérias-primas até a disposição final de resíduos de materiais de construção (Ortiz *et al.*, 2009). Estes sistemas fornecem dados importantes para a avaliação da sustentabilidade devido à avaliação dos impactos ambientais, direta e indiretamente, os quais se encontram associados à totalidade do ciclo de vida dos materiais e dos produtos da construção, Figura 23 (Bragança e Mateus, 2006).

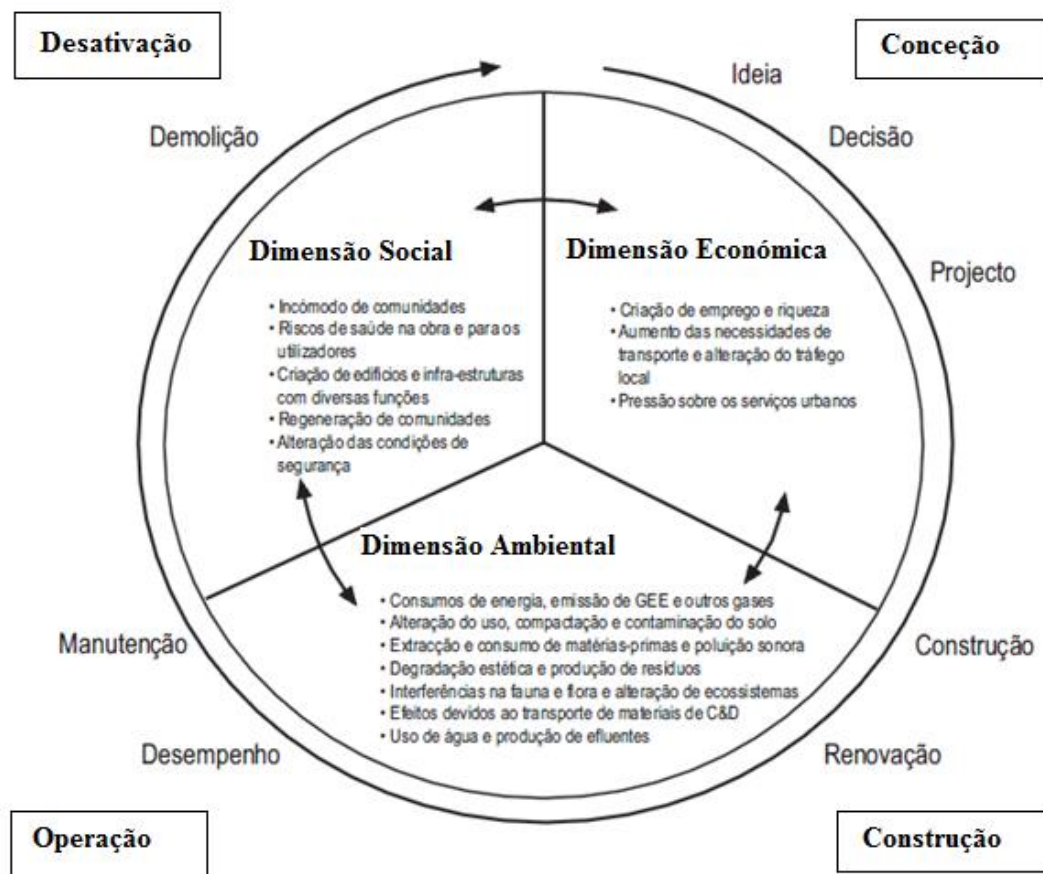


Figura 23 – Ciclo de vida da construção (CICA, 2002)

A adoção da avaliação ambiental do ciclo de vida nos edifícios e noutras obras de construção é uma tarefa complexa visto que uma construção incorpora uma grande diversidade (entre centenas e milhares) de produtos individuais e o projeto de construção pode envolver dezenas de empresas. Para além disso, o ciclo de vida esperado de um determinado edifício é

demasiado longo (cerca de dezenas ou centenas de anos). Por essa razão e devido à sua complexidade, as ferramentas de LCA que estão atualmente disponíveis não são amplamente utilizadas pela maioria dos interessados, sendo na sua maioria utilizadas e desenvolvidas por especialistas (Mateus, 2011).

Os métodos simplificados LCA, atualmente integrados em sistemas de classificação, não são abrangentes ou consistentes, *LCA-based*, mas têm um papel importante na transformação dos edifícios mais sustentáveis (Figura 24). No entanto, a abordagem LCA não é a mesma nos diferentes métodos de avaliação de sustentabilidade e, por conseguinte, os resultados da avaliação do desempenho ambiental não são os mesmos nem mesmo comparáveis. A integração de métodos mais precisos da avaliação ambiental é necessária para verificar se o desempenho exigido foi realmente alcançado, para comparar as soluções precisas e comparar os resultados de diferentes sistemas de classificação (Bragança *et al.*, 2008).

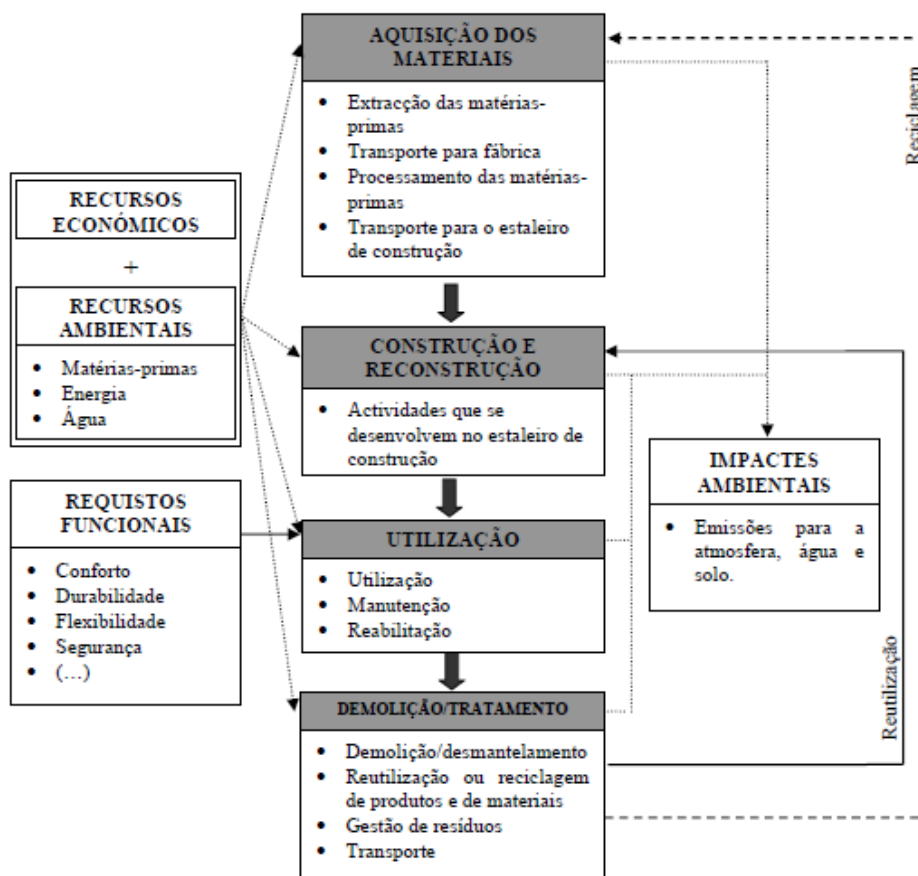


Figura 24 - Ciclo de vida de um edifício (Sustentabilidade de soluções construtivas, Bragança e Mateus, 2006)

Neste sentido, o ciclo da construção inicia-se com a aquisição dos materiais necessários para o edifício, englobando a extração das matérias-primas, o transporte dos materiais para a fábrica, o processamento das matérias-primas e o transporte para o estaleiro de construção, passando para a construção e reconstrução do edifício. De seguida, sucede-se a fase de utilização a qual compreende a utilização, manutenção e reabilitação do edifício. Finalizando este ciclo, inclui-se a demolição, reutilização ou reciclagem de produtos e materiais, assim como a gestão de resíduos e transporte. Deste modo, a fase do uso (uso do empreendimento) é a fase que merece especial atenção, visto que é nela que se aponta para diversos impactes associados, tanto dos erros cometidos nas fases que a antecedem como impactes implícitos da própria fase. É na fase do uso que surgem consequências referentes aos materiais especificados no projeto de arquitetura (os materiais devem considerar a sua durabilidade e facilidade de manutenção, para além do cumprimento de criação de ambientes internos não poluídos). Outro impacto negativo que pode surgir durante o uso é o consumo superior e desnecessário de energia e de água, podendo este problema ser solucionado na etapa do projeto através da adoção de sistemas eficientes de iluminação, ventilação e condicionamento de ar (aquecimento e refrigeração), bem como com dispositivos para economizar a água e a energia associadas às instalações prediais (Casagrande, 2008). Em suma, a construção para poder ser classificada como “Construção Sustentável” tem necessariamente de ser pensada em todas as suas fases do ciclo de vida. Em cada uma dessas fases a sustentabilidade na construção é, normalmente, equacionada nas perspetivas energética e ambiental. Tal como referido por Pinheiro (2006), “a forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo completo das atividades construtivas sustentáveis.”

4.2 Fases de intervenção

A fase inicial de um projeto de construção é conhecida por ser a fase mais crucial para o desenvolvimento de uma construção sustentável, Figura 25 (Koukkari, 2011). Quando é feita a referência à fase de projeto, é importante destacar que não só o projeto de arquitetura mas também os projetos complementares de engenharia têm o seu papel a desempenhar. O projeto arquitetónico é a fase onde se pode identificar os diversos impactes ambientais inseridos ao longo do ciclo de vida do edifício. Como tal, o edifício deve ser considerado como um

produto global para que o projeto arquitetónico facilite a integração de outros projetos. Por conseguinte, existem muitos intervenientes nesta fase, assim como os engenheiros eletrónicos estão inseridos no âmbito das condições de luz natural de modo a quantificar a iluminação, os engenheiros mecânicos inserem-se na parte do condicionamento térmico da edificação de modo a efetuar o cálculo das instalações de ar-condicionado assim como os engenheiros hidráulicos/civis desempenham o papel de prever o reuso da água e a captação da água da chuva, assim como evitam a movimentação de terras sempre que possível, desde o conhecimento da topografia e do solo até à alteração da forma da edificação (Casagrande, 2008).

Sendo o projeto o ponto de partida do ciclo de vida do edifício, espera-se que grande parte das soluções minimizadoras dos seus impactos parta dos seus projectistas. As definições aplicadas nesta primeira fase do projeto implicarão consequências nas fases seguintes.

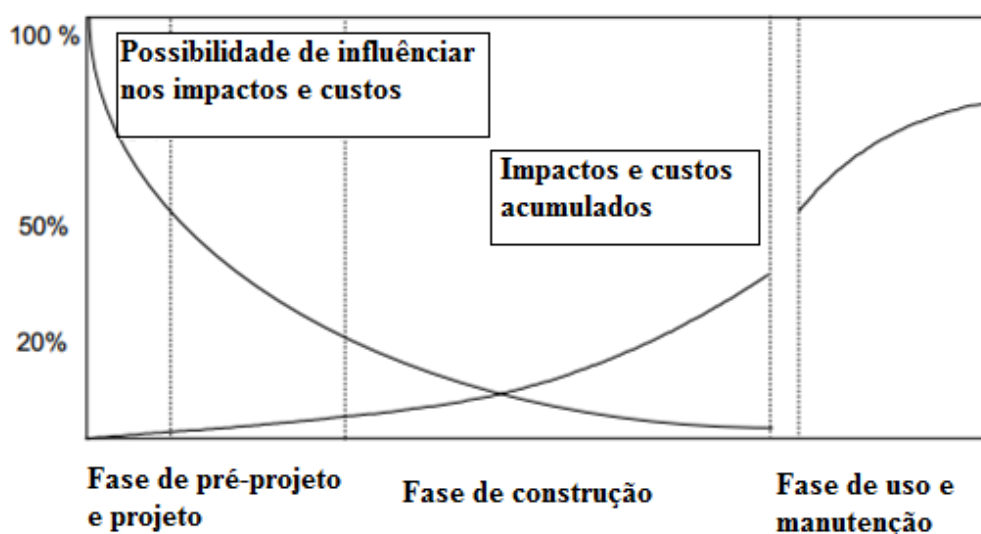


Figura 25 - Influência de tomada de decisão em diferentes fases de um projeto de construção (Kohler e Moffatt, 2003).

A fase de projeto engloba o estudo prévio e o projeto de execução (Figura 26). Esta fase é, provavelmente, a mais importante do processo, isto porque é nesta altura que se tomam as principais decisões relativas ao local, à conceção, aos fornecedores, aos materiais a utilizar, às necessidades energéticas e de água, entre outras. As decisões tomadas até à então provocarão consequências que se irão refletir nas restantes fases do ciclo de vida da construção (Pinheiro, 2006).



Figura 26 – Ciclo de vida da fase de projeto

É nesta fase que é inserido um “Programa de Necessidades” que define o padrão da edificação a ser construída. Esta etapa é de extrema relevância para a sustentabilidade do edificado por permitir total liberdade ao empreendedor e profissionais envolvidos na conceção do projeto. Por consequência, os envolvidos na edificação poderão procurar aumentar o seu desempenho sócio ambiental de modo a minimizar os custos associados às fases seguintes do projeto.

Mais uma vez, é importante salientar que o empreendimento sustentável deve (CEOTTO, 2006):

- i. Atender às necessidades dos utilizadores;
- ii. Ser economicamente viável para os seus investidores;
- iii. Ser produzido com técnicas que reduzam o trabalho inseguro realizado pelo homem.

O objetivo para a avaliação da sustentabilidade vai ainda mais longe do que considerar a sua importância na fase de conceção de um projeto, obtendo melhores resultados aquando a sua consideração numa fase inicial, antes de qualquer projeto detalhado ou mesmo antes de um compromisso. No entanto, existe pouca ou nenhuma preocupação no que diz respeito à importância de selecionar os projetos mais respeitadores do ambiente durante a fase de avaliação do projeto; a fase em que as questões ambientais são melhor incorporadas (Ding, 2008).

É na fase de projeto que o empreendimento está a ser concebido. Nesta etapa são realizados estudos e soluções arquitetónicas associadas (Santos, 2009):

- a) Conservação de energia;
- b) Redução do consumo de água;

- c) Aproveitamento da luz natural;
- d) Tratamento de esgotos;
- e) Dimensionamento dos sistemas sem excessos;
- f) Economia no consumo de energia elétrica (iluminação artificial, elevadores);
- g) Transporte interno e recolha seletiva de lixo (reciclagem);
- h) Reutilização da água (chuva, esgoto, infiltrações);
- i) Economia no consumo de água (autossuficiência).

Nesta fase existe a preocupação de se projetar para a durabilidade, para a manutenção e para um desempenho definido. As condicionantes físicas e ambientais e as suas considerações críticas efetuadas por parte do empreendedor constituem ações que deverão ser consideradas para obter uma atitude sustentável na cidade. Para implementar a sustentabilidade na construção é necessário atender a diversos aspetos. O diálogo com a comunidade sobre os possíveis impactes sócio-ambientais é importante especialmente quando o empreendimento é de grandes dimensões provocando uma mudança significativa na localidade. Deve ser respeitada a opinião deste grupo de interesse no sentido de preservar os seus aspetos culturais, o seu bem-estar e o seu relacionamento com os futuros usuários do empreendimento, associando-se com as duas premissas básicas da sustentabilidade: a justiça social e a aceitação cultural (Ecordys, 2008).

Ao conceber um empreendimento é necessário pensar nos aspetos culturais e possíveis modos de vida dos futuros moradores, sendo fundamental para o atendimento das necessidades deste grupo e para o bom desempenho do empreendimento. Exemplo disso é a questão do envelhecimento da população, pois num país onde a sociedade está a caminhar para um processo de envelhecimento realça-se a importância do acesso facilitado desses indivíduos aos seus locais habitacionais. Permitir que um empreendimento seja posteriormente modificado/adaptado, tanto na inclusão quanto na modificação de materiais, para atender às necessidades futuras dos seus moradores, é um aspeto relevante para a sustentabilidade (Pinheiro, 2006).

A procura por empresas que se preocupem com as questões sócio-ambientais, políticas de qualidade e valorização de funcionários, é imprescindível para garantir a sustentabilidade de todos os aspectos do empreendimento. Além disso, é importante no sentido de incentivar toda a cadeia produtiva a adaptar-se aos aspetos da sustentabilidade, ou seja, produtos e serviços com baixo impacto sócio-ambiental no seu ciclo de vida. Executando-se essas ações, espera-

se que sejam estabelecidos laços de confiança com as partes envolvidas, evitando conflitos e melhorando a reputação do empreendedor no mercado. Os benefícios da existência dessa integração das várias partes envolvidas vão desde a redução ou eliminação de riscos até a percepção de oportunidades de mercado e inovação decorrente do contato com pessoas com outros pontos de vista.

Ao iniciar a concepção de um empreendimento é importante verificar o regime de pluviosidade da região e a sua periodicidade. Deverá ser considerado se a região apresenta falta de água ou enchentes, problemas de erosão decorrentes das chuvas, carência de saneamento ou abastecimento de água na região. Estes dados ajudarão a alinhar as estratégias de projeto (para as fases de implantação e operação) e definir as características do empreendimento, resultando na seleção de estratégias a serem utilizadas, contribuindo assim para a sustentabilidade alinhada à redução de custos em toda a vida útil do empreendimento (Degani e Cardoso, 2002).

Qualquer iniciativa no sentido de fazer um uso eficiente da água reverte-se em benefícios para a edificação ao longo da sua vida útil, especialmente na fase de ocupação, na qual ocorre o maior consumo. O uso racional consiste no desenvolvimento de sistemas hidráulicos com consumo eficiente de água durante toda a vida útil do empreendimento, isto é:

- a) Redução do consumo e do desperdício de água;
- b) Aumento da eficiência do uso de água;
- c) Aumento da reciclagem e da reutilização de água.

O conforto dos ocupantes é garantido de acordo com o baixo consumo de energia, do alinhamento entre variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas. Estas soluções arquitetônicas devem relacionar-se ao máximo com o aproveitamento das potencialidades climáticas locais de modo a atenderem às necessidades humanas.

Existem vários benefícios na especificação correta do sistema construtivo, entre eles encontra-se a redução dos custos com a gestão dos resíduos. Esta consiste na redução do desperdício e dos custos decorrentes da aquisição de novos materiais, redução de reclamações por parte dos clientes, devido a patologias no empreendimento no período de garantia.

Além disso, existem benefícios indiretos, tanto para o empreendedor como para os clientes, devido, por exemplo, ao aumento da durabilidade do empreendimento e manutenção do seu desempenho. Existem ganhos até mesmo para a sociedade, com a redução da poluição causada pelo transporte, estímulo da economia local, aumento da vida útil de aterros sanitários, entre outros. O empreendedor e a sua equipa devem avaliar os sistemas construtivos a serem utilizados no empreendimento considerando os aspetos apresentados de seguida:

- i. Custos: O primeiro aspeto a ser considerado é o levantamento dos custos de cada sistema construtivo de modo a que estes não sejam apenas considerados durante a construção, mas também na fase de uso e operação (Mateus, 2004).
- ii. Durabilidade: Conceber o empreendimento com uma vida útil mínima de 50 anos, atendendo às normas técnicas e principalmente às de desempenho, especificando produtos e sistemas com vida útil semelhante e com flexibilidade para atender a diferentes necessidades de futuros usuários e facilitar a sua requalificação (Pinheiro, 2006).
- iii. Qualidade e proximidade dos fornecedores: Devem ser procurados fornecedores que cumpram as diferentes legislações em vigor (por exemplo, ambientais) e que ofereçam produtos de qualidade, isto é, em conformidade com as normas técnicas, de desempenho ou programas setoriais de qualidade. Deve-se também pesquisar a proximidade dos fornecedores para que a economia local seja estimulada e as emissões dos veículos transportadores minimizada (Pinheiro, 2006).
- iv. Quantidade e finalidade dos resíduos gerados: A análise e quantificação dos resíduos são realizadas para reduzir as perdas de material, os custos com o transporte e a disposição em aterro, especialmente de resíduos. O empreendedor deve atender à legislação local e solicitar um mapeamento dos locais onde os resíduos devem ser depositados. A baixa geração de resíduos implica uma redução de custos e baixo impacto ambiental.
- v. Utilização dos materiais: É importante não apenas que os materiais adequados sejam selecionados mas também que a sua utilização seja planeada de modo a evitar desperdícios.

Na fase de conceção, o empreendedor deve estabelecer como meta a obtenção do maior conforto térmico e visual para os ocupantes associado ao menor consumo de energia possível.

Por esta razão, nesta fase, a gestão de energia e emissões e qualidade do ambiente interno são temas que devem ser tratados em conjunto (Pinheiro, 2006).

Os impactes ambientais estão associados aos trabalhos de conceção e levantamentos efetuados para obtenção de dados. No entanto, na fase de projeto estes impactes são muito reduzidos, obtendo valores pouco significativos quando comparados com as restantes fases (Pinheiro, 2006):

- a) Energia, transporte e deslocações: para analisar o local e efetuar os levantamentos necessários;
- b) Consumo de papel: é uma fase de elevado consumo de papel, no desenvolvimento do plano e projeto, bem como no processo de autorização e licenciamento;
- c) Consumos e emissões associados à operação de escritórios: como grande parte da atividade é executada em escritórios, os efeitos da sua operação (consumo de energia, por exemplo) podem originar impactes ambientais.

Em síntese, a importância desta fase de conceção está associada à tomada de decisões que podem levar a uma conceção com a preocupação de reduzir os impactes da construção e da operação, quer a nível dos materiais quer a nível energético. É a fase decisiva para os eventuais impactes futuros. A fase seguinte, a fase de Implantação/Construção da edificação, inclui as consequências das decisões tomadas na fase de projeto, tornando-se evidente a necessidade da seleção consciente de recursos e soluções, tendo em conta as suas características e métodos construtivos associados (não agressivos ao meio ambiente) desde o transporte, descarga, armazenagem, aplicação e a sua proveniência através da qualificação de fornecedores responsáveis. Isto possui implicações na escolha de materiais e componentes. Dever-se-á dar prioridade a soluções e produtos que gerem pouco ou nenhum resíduo e ainda que seja dada a preferência a materiais recicláveis ou que contenham componentes reciclados, sendo também importante a escolha de materiais comerciais disponíveis nas proximidades do estaleiro evitando-se assim longos percursos de transporte. Outros fatores a serem considerados pela equipa de projeto referem-se aos métodos construtivos adotados. Os processos construtivos que geram o menor consumo de energia e água, de menor impacto ambiental no geral, e aqueles de fácil controlo devem tomar uma posição preferencial evitando perdas decorrentes do desperdício. A equipa de projeto deve ainda projetar de forma a compensar ou evitar a demolição do meio edificado existente, supressão de vegetação e rebaixamento de lençóis freáticos (Casagrande, 2008).

Também a escolha dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS), ocorrem durante a fase de projeto sendo, portanto, da responsabilidade da equipa de projeto. Esta escolha deve considerar a disponibilidade local de sistemas a gás ou aproveitamento de energia solar (por exemplo através de painéis solares). Deve também ser considerada a possibilidade de aproveitamento de águas e sistemas de recolha de resíduos eficientes, de modo a que permitam que a triagem seja feita pelo usuário (Casagrande, 2008).

A previsão de possibilidades de expansão e modernização do edifício é da função da equipa de projeto, tendo como objetivo evitar demolições parciais desnecessárias e viabilizar o reaproveitamento de componentes, aumentando assim a flexibilidade e adaptabilidade do edifício, levando à expansão da vida útil do edifício. No caso de um projeto de reabilitação, devem estipular-se como prioridade as ações que minimizem ao máximo as demolições, principalmente em locais que permaneçam em funcionamento na fase de reabilitação. É importante salientar que as opções de um projeto de reabilitação devem adequar-se às modificações do meio, à durabilidade e procurar sempre a regeneração do edifício, preservando ao máximo o que já se encontra construído (Degani e Cardoso, 2002). A interligação de todos estes aspetos permitirá que na fase comum de manutenção haja um aumento de qualidade de vida dos ocupantes num determinado edifício. Os edifícios funcionam como o armazenamento dos materiais e as estruturas construídas acumulam uma importante parte dos materiais extraídos durante períodos alargados (dezenas de anos). A utilização dos materiais que podem conter ou libertar substâncias perigosas (amianto, compostos orgânicos voláteis, radioatividade) bem como condições de humidade, temperatura ou ventilação inadequada, assim como sistemas que podem permitir o desenvolvimento de patologias (por exemplo, o ar-condicionado), podem originar riscos de saúde para os utilizadores (como é o caso da doença do legionário derivada dos problemas de manutenção do ar condicionado). Cerca de 30% de todos os edifícios novos e remodelados têm baixa qualidade do ar interior, devido a emissões nocivas, a condições de humidade erradas e má ventilação, as quais geram o aparecimento de agentes patogénicos (EGEO). Assim, o ambiente interior, nomeadamente o conforto, a saúde e a segurança dos utilizadores, é também um aspeto importante a considerar nos impactes ambientais associados aos edifícios (Augenbroe e Pearce, 1998, Bourdeau *et al.*, 1998).

Para a manutenção eficiente de um edifício é muito importante que o acesso às instalações hidráulicas, elétricas e sistemas de ar condicionado e aquecimento de água seja facilitado (é

uma condição do projeto de arquitetura ser compatibilizado com os projetos de instalações). É muito importante a coordenação de projetos de arquitetura com os demais, pois é a partir deste ponto que se garante a eficiência de cada um deles e que se manifestará nas etapas de planeamento, implantação, uso e manutenção. As atividades de manutenção, restauro e reabilitação de empreendimentos devem permitir um aperfeiçoamento dos edifícios de modo a introduzir sistemas elétricos, hidráulicos e de ventilação eficientes (Degani e Cardoso, 2002).

Em suma, os aspetos a ter em consideração no projeto de edifícios sustentáveis são essencialmente os seguintes (Pinheiro, 2006):

- i. Utilização Racional da Energia: pretendendo-se reduzir o consumo de energia nos edifícios através da utilização de equipamentos mais eficientes e da utilização das energias renováveis;
- ii. Utilização de Tecnologias Solares Passivas: pretendendo-se tornar os edifícios mais confortáveis e reduzir os consumos energéticos, tirando o máximo partido das técnicas de aquecimento e arrefecimento naturais;
- iii. Utilização Criteriosa dos Materiais: a seleção de materiais com menor impacto ambiental pode reduzir efeitos negativos na saúde, minimizar os resíduos, reduzir a energia incorporada nos materiais e eliminar outros impactes a montante da construção;
- iv. Utilização da água: reduzir o consumo de água no interior e no exterior dos edifícios através da utilização de equipamentos mais eficientes, da captação e utilização da água das chuvas, da água utilizada em lavagens e a conceção de jardins que necessitem de menos água;
- v. Implantação dos edifícios: minimizar o impacto do edifício no local de construção, promover a integração no ambiente urbano e proteger os ocupantes da poluição sonora;
- vi. Outros Impactes: devem ser analisados cuidadosamente quaisquer outros possíveis impactes da construção como por exemplo, os transportes, a saúde e a segurança.

A sustentabilidade é assim uma questão relativa que deve ser avaliada comparativa e relativamente à prática corrente (a solução de referência) num determinado país/local (Figura 27). Deste modo, é possível verificar se, ao nível de cada parâmetro analisado, a solução em estudo é melhor ou pior do que a solução de referência. A solução mais sustentável depende daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento (Mateus e Bragança, 2004).



Figura 27 – Exemplo de fachada ilustrativa de poupança e geração de energia

4.3 Avaliação da Sustentabilidade

4.3.1 Indicadores de Sustentabilidade

“Um indicador é geralmente um valor derivado da combinação de diversos parâmetros” (Mateus e Bragança, 2006). Os parâmetros correspondem a uma propriedade mensurável ou observável de um fenómeno, ambiente ou área. Assim, segundo Mateus e Bragança (2006) “os indicadores a analisar devem ser definidos de uma forma clara, transparente, objetiva e concisa” devido à relação de dependência do número e do tipo de indicadores considerados, sendo indispensável a definição das áreas de avaliação e dos respetivos parâmetros. Um sistema de indicadores deve fornecer uma medida de desempenho atual, uma declaração clara do que pode ser alcançado em termos de metas de desempenho e um ponto de referência para a medição do progresso ao longo do caminho (Jefferson *et al.*, 2007). A utilização de indicadores e parâmetros de sustentabilidade é baseada em definições, regras, métodos, classificações e na atribuição de pesos. Na generalidade, é necessário fazer uma avaliação e atribuir um peso a cada parâmetro e indicador, nas fases de desenvolvimento e utilização das metodologias. O carácter pessoal destas ações acaba por introduzir uma certa subjetividade no resultado da avaliação (Mateus e Bragança, 2006).

Por conseguinte, para a uniformização das metodologias de avaliação a nível europeu, a Comissão Europeia (1991) criou um Grupo de Trabalho, o qual definiu uma lista de dez indicadores (Mateus e Bragança, 2006):

- i. Indicadores principais: satisfação dos utilizadores; impactes nas alterações climáticas, mobilidade e transportes públicos; acesso às áreas de serviço e espaços verdes; qualidade do ar;
- ii. Indicadores suplementares: distâncias aos espaços de ensino; sistemas de coordenação do desenvolvimento sustentável; ruído; uso sustentável do solo; produtos que respeitam o desenvolvimento sustentável.

Ugwu *et. al.* publicou vários artigos sobre os principais indicadores de desempenho (KPIs) da sustentabilidade nos edifícios (Ugwu *et al.*, 2006a, Ugwu *et al.*, 2006b, Ugwu e Haupt, 2007). Neste sentido, propôs um modelo de decisão analítica e uma metodologia estruturada para a avaliação da sustentabilidade em projetos de infraestruturas, SUSAIIP, especificamente para a identificação de KPIs. Com efeito, os KPIs são aplicados num quadro tipo, que inclui a revisão da literatura primária, as diretrizes governamentais e a análise da recolha de dados. Através dos diferentes estudos realizados pelo autor, identificou-se a existência de diversos conjuntos de indicadores, incluindo não apenas indicadores ambientais, sociais e económicos mas também de saúde e segurança, utilização de recursos e administração do projeto.

Alwear e Clements-Croome (2010) apresentaram um modelo conceptual para a seleção de KPIs para “edifícios inteligentes” (Quadro 4).

Alwear e Clements-Croome propuseram um modelo com três etapas, que tinha como objetivo o desenvolvimento de um modelo de avaliação de sustentabilidade (SuBETool). Este é um modelo que visa ajudar as partes interessadas no modo de seleção dos indicadores mais adequados para os edifícios. A subjetividade em sustentabilidade é inevitável e o consenso precisa de ser atingido por uma grande variedade de *stakeholders*. Os resultados podem variar de especialista para especialista e, por vezes, podem ser influenciados, o que não é fiável em termos da precisão havendo, portanto, uma susceptibilidade na interpretação dos resultados. A compreensão das necessidades e a sua transformação em indicadores de elevada qualidade é universal, uma vez que, diversos interessados têm lutado por esse objetivo. Neste âmbito, existem questões sobre a natureza de bons indicadores sustentáveis em termos de prioridade e de *benchmarking*. No entanto, dadas as diferentes ponderações e pontuações por cada

interessado, seria significativo para usar a análise de tendência na prática real. Assim, o reconhecimento de KPIs como uma ferramenta para alcançar o consenso entre as partes interessadas parece útil para discutir um procedimento para o futuro. O modelo desenvolvido é capaz de considerar diferentes níveis de informação e estrutura de todas as questões relevantes de uma forma ordenada, ajudando os tomadores de decisão a lidar com a multiplicidade dos temas incluídos no conceito de sustentabilidade. O trabalho definiu um método que é adaptável para cada projeto. Os resultados do exercício de ponderação são inevitavelmente subjetivos e são dependentes do tempo (e irão exigir uma atualização regular). No entanto, o método utilizado mostrou-se eficaz na imparcial determinação da inconsistência de opiniões entre os vários grupos. Este estudo contribui para uma visão convincente sobre as prioridades e expectativas dos diferentes tomadores de decisões (ALwaer e Croome, 2010).

Quadro 4 – Exemplo de KPIs ao longo do ciclo de vida (Fonte: ALwaer e Clements-Croome, 2010).

Key Performance Indicators (KPIs)	Indicadores identificados no âmbito de pré-requisitos e indicadores desejados	Indicadores selecionados para o modelo conceptual de Alwear e Clements-Croome
Grupo de Indicadores Ambientais (En-KPIs):	Energia e Recursos Naturais (E) Água e Conservação (W) Materiais utilizados, durabilidade e Resíduos (M) Uso da terra e seleção do local (L) Transportes e Acessibilidade (T) Emissões de Gases de Efeito Estufa (poluição) (GEE)	Energia e Recursos Naturais (E) Materiais utilizados, durabilidade e Resíduos (M)
Grupo de Indicadores Socioculturais (So-KPIs):	Usabilidade, funcionalidade e estética (F) Qualidade Ambiental Interna (IEQ) - Saúde e Bem-estar Considerações de arquitetura - a integração do património cultural e a compatibilidade com o valor do património local (A) Inovação e design de processo (ID)	Usabilidade, funcionalidade e estética (F) Qualidade Ambiental Interna (IEQ) - Saúde e Bem-estar Inovação e design de processo (ID)
Grupo de Indicadores Económicos (Ec-KPIs):	Flexibilidade e adaptabilidade (FA) Desempenho económico e acessibilidade (EP) Capacidade de gerenciamento da construção (BM) Valor <i>Whole Life</i> (V)	Flexibilidade e adaptabilidade (FA) Desempenho económico e acessibilidade (EP)
Grupo de Indicadores Tecnológicos (Tc-SIPA):	Inteligência e controlabilidade (IC) Comunicações e mobilidade (C)	Inteligência e controlabilidade (IC)

Deste modo, ambos os modelos apresentados consideram um determinado número de indicadores baseados na medição do nível de sustentabilidade para “edifícios inteligentes” de modo a tornar facilitada esta medição para os desenvolvedores, projetistas, ocupantes e decisores.

4.3.2 Metodologias existentes

A partir da década de noventa, iniciou-se uma transformação no modo como se projetava e como se executavam os edifícios. Esta transformação surgiu para mitigar os impactos ambientais (Crawley e Aho, 1999). No entanto, a sensibilidade por parte das pessoas que se encontram relacionadas com a construção sustentável ainda não é diretamente proporcional à realidade (Ugwu *et al.*, 2005). Por consequência, a ciência e a pesquisa relativa à sustentabilidade, desempenham uma importante contribuição para facilitar este acontecimento. Com isto presente, uma grande quantidade de metodologias e ferramentas têm sido desenvolvidas desde 1990. Foi nesta altura que se publicou a primeira ferramenta de avaliação da sustentabilidade (Haapio e Viitaniemi, 2008). A partir da primeira ferramenta de avaliação da sustentabilidade foram-se desenvolvendo cada vez mais ferramentas de avaliação e classificação de edifícios, com o auxílio de indicadores de sustentabilidade, até à presente data. Contudo, estas ferramentas encontram-se, na sua maioria, direcionadas para a proteção ambiental e, portanto, existe carência da participação de todos os intervenientes no ciclo de vida do edifício (Ugwu *et al.*, 2005, Saparauskas de 2007, Bragança *et al.*, 2010). As ferramentas de sustentabilidade para os edifícios têm sofrido um aumento gradual. A maior parte destas ferramentas foram desenvolvidas por diversos centros de pesquisa (Haapio, 2008). Existem várias publicações sobre a construção de métodos de avaliação ambiental, por exemplo, Cole (2004), Cooper (1999) ou ainda Crawley e Aho, (1999). Alguns destes métodos são comparados em estudos publicados como Forsberg e Malmberg (2004), Todd *et.al.* (2001). Os resultados obtidos através das várias ferramentas são comparados, por exemplo, por Aotake *et al.* (2005) e Kawazu *et al.* (2005). A recolha e compilação de informação e adequação da mesma às tomadas de decisão são, frequentemente, suposições tomadas por defeito. O longo período de vida útil dos edifícios faz com que sejam necessárias ações de manutenção que muitas vezes implicam a utilização de novos materiais e consequentemente sejam despendidas novas quantidades de energia. Desta forma, devem ser delineados cenários que prevejam a tipologia destes investimentos, quer em termos de materiais necessários, de custos, de tempo de vida espectável e soluções de deposição final.

Por todas estas razões, a aplicação de metodologias de avaliação da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do edifício, nas fases preliminares, permite analisar quais as melhores soluções a implementar de forma a minimizar o impacto ambiental do edifício da forma menos dispendiosa (Pinheiro, 2006).

Existem duas metodologias básicas para a análise da sustentabilidade do ambiente construído: sistemas de classificação ambiental e análises ambientais de ciclo de vida. Os primeiros são sistemas voluntários de avaliação da sustentabilidade aplicáveis a edifícios e que conduzem, na maior parte das vezes, à certificação da sustentabilidade de acordo com os critérios definidos nesse sistema. Estes sistemas baseiam-se numa série de critérios, qualitativos e quantitativos, os quais são avaliados e classificados com atribuição de créditos conduzindo a um resultado final correspondente à soma ponderada dos créditos obtidos. Uma análise de ciclo de vida de um sistema construtivo consiste na compilação e avaliação de todos os fluxos (entradas e saídas) e dos potenciais impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se às diversas fases do sistema construtivo (Gervásio, 2008).

Como todos os modelos, a LCA visa corresponder a uma simplificação da realidade e ao mesmo tempo é um modelo de uma realidade complexa que permite avaliar os impactos ambientais e as suas consequências na saúde humana, ecossistemas, disponibilidade de recursos, entre outros (Bragança e Mateus, 2009). Esta análise LCA pode ser incluída muitas vezes nos sistemas de avaliação de sustentabilidade acima referidos (sistemas de certificação) (Seo *et al.*, 2006). Como já foi referido, nas últimas décadas foram desenvolvidas dezenas senão centenas de metodologias para a avaliação da sustentabilidade do meio edificado. De entre os demais (Figura 28) podem destacar-se: o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o SBTool (Sustainable Building Tool), um método desenvolvido a nível internacional, EcoQuantum da Holanda, o CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) do Japão e o DGNB (Sustentável *Building Council* Sistema de Certificação) da Alemanha.



Figura 28 - Sistemas de certificação para edifícios sustentáveis

BREEAM

Inicialmente foi desenvolvida a metodologia BREEAM, no Reino Unido, pelo BRE (Building Research Establishment) nos anos 90 a qual se baseia numa avaliação ambiental e social. Esta metodologia define um padrão para as melhores práticas nas fases de projeto, construção e operação. Uma avaliação com este sistema permite que os avaliadores transmitam aos clientes, aos *designers*, entre outros, os seguintes aspectos:

- i. Reconhecimento do mercado com baixo impacto ambiental nos edifícios;
- ii. Confiança em práticas ambientais incorporadas no edifício;
- iii. Encontro de soluções inovadoras que minimizam o impacto ambiental;
- iv. Uma referência que seja maior do que a regulamentação;
- v. Um sistema para ajudar a reduzir os custos operacionais, melhorar os ambientes de trabalho e de vida;
- vi. Um padrão que demonstra o progresso em direção empresarial e organizacional dos objetivos ambientais.

Desde 1990 o sistema BREEAM tem sido constantemente atualizado e ampliado para incluir a avaliação de edifícios existentes tais como, escritórios, supermercados e edifícios industriais (Yates e Baldwin, 1994).

Um novo relatório, encomendado pela Schneider Electric e conduzida por BSRIA (*Bulding Services Research and Information Association*), oferece, pela primeira vez, um *feedback* detalhado da indústria sobre o esquema BREEAM. A pesquisa envolveu uma secção transversal de clientes, consultores e prestadores de serviços que têm experiência, em primeira mão, no esquema de certificação *green building*. Este detalha dados estatísticos e comentários dos custos, benefícios e motivações para os envolvidos, bem como oferece um *feedback* para o BRE de como ele poderia ser melhorado (Schneider Electric, 2012). As conclusões deste relatório mostram que há um verdadeiro interesse das empresas para orientação sobre práticas de menor impacte ambiental.

Um dos elementos mais fortes sobre BREEAM é que cada edifício pode beneficiar de controlos e tecnologias que proporcionam benefícios a longo prazo e que nem todos podem conseguir classificação para a localização do edifício e da posição que muitas vezes pode estar fora de um controlo de negócio (Schneider Electric, 2012). Esta metodologia fornece o reconhecimento do mercado para edifícios de baixo impacte ambiental, assegura as melhores práticas ambientais que são incorporadas nos edifícios e permite uma motivação para criação de soluções inovadoras. Para além disso, também define parâmetros mais específicos do que a regulamentação contra o qual o desempenho do edifício é verificado e avaliado.

O BREEAM pode ser utilizado para avaliar as características de uma vasta gama de tipologias de edifícios. Este método avalia uma série de componentes de construção relacionados, por exemplo, com o desempenho na gestão e uso de energia, saúde e bem-estar, poluição, transporte, uso da terra, ecologia, materiais e água. A cada categoria são atribuídas pontuações que são ponderadas e somadas para gerar uma pontuação única, que por sua vez é classificado como justo, bom, muito bom e excelente. O certificado emitido é, então, frequentemente utilizado para a comercialização. BREEAM permite uma revisão profissional de determinados impactes ambientais numa construção nova ou restaurada, ao longo de todas as etapas do processo de construção (BREEAM, 2008). BREEAM divide os seus indicadores em 10 categorias diferentes e, por conseguinte, uma ponderação das categorias de acordo com a tipologia do edifício (Andrade, 2011). Por consequência, BREEAM teve um grande impacte em todo o mundo, por exemplo no Canadá, Austrália, Hong Kong, entre outros, permitindo a adoção desta metodologia como base para o desenvolvimento dos seus próprios métodos de sustentabilidade para a avaliação ambiental do edifício (Ding, 2008). Assim, os indicadores

bem como as respetivas categorias de sustentabilidade avaliados pelo BREEAM encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5 – Indicadores de sustentabilidade avaliados pelo BREEAM

Gestão	Desperdiçar
Comissionamento	Resíduos de construção
Impacte local da construção	Agregados reciclados
Construir guia do usuário	Instalações de reciclagem
Saúde e Bem-estar	Poluição
Luz do dia	Líquidos refrigeradores e fugas
Conforto térmico dos ocupantes	Risco de inundação
Acústica	Emissões de NOx
Qualidade da água e do ar interior	Poluição dos cursos de água
Iluminação	Luz externa e poluição sonora
Energia	Uso da Terra e Ecologia
Emissões de CO ₂	Escolha do local
Baixo ou zero emissões de carbono	Proteção das características ecológicas
Sub medição de energia	Mitigação/ Valorização da ecologia
Eficiência energética em edifícios	
Transporte	Materiais
Conectividade de rede de transportes públicos	Impacte do ciclo de vida dos materiais
Instalações para pedestres e ciclistas	Materiais de reutilização
Acesso às amenidades	Fornecimento responsável
Plantas de viagens e informações	Robustez
Água	Inovação
Consumo de água	Exemplos de níveis de desempenho
Deteção de fugas	Uso de profissionais credenciados BREEAM
Reutilização e reciclagem de água	

Por tudo isto, BREEAM foi uma das metodologias utilizadas para o presente estudo (uma das bases das dimensões social e ambiental), de modo a identificar quais os requisitos necessários para garantir a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios em estrutura metálica, nas fases de estudo prévio e ante-projeto.

Com base no estudo de Schneider Electric (2012) que apontou as vantagens da metodologia BREEAM, esta foi escolhida para os propósitos do presente estudo, dada a especificidade dos parâmetros que ela contempla e o facto de, tal como as outras metodologias desenvolvidas, ser aplicável a diversos tipos de construção, no caso em questão a construção metálica. Por outro lado, como a base do estudo é a sustentabilidade, esta metodologia permite o

reconhecimento de edifícios de baixo impacto ambiental, o que possibilita melhores práticas ambientais incorporadas no edifício. Para além disso, os impactos sociais, apesar de não tão desenvolvidos como os impactos ambientais, também são incluídos nesta metodologia, completando, assim, duas das três dimensões da sustentabilidade em estudo. Por conseguinte, esta metodologia também possui a vantagem de analisar os impactos na fase em estudo: fase de projeto.

SBTool

O SBTool é um método de avaliação ambiental, social e económica que resulta da colaboração de mais de 20 países. Este método tem como objetivo apoiar as equipas de projeto desde as etapas mais preliminares de conceção dos edifícios sustentáveis e permitir a avaliação e certificação da sustentabilidade dos edifícios existentes, novos e restaurados, situados principalmente em zonas urbanas (IISBE, 2009). Esta metodologia já foi adoptada por vários países, como é o caso de Portugal tendo sido adaptada para a realidade do país - SBTool^{PT} - H.

Apesar do objetivo inicial – apoiar as equipas de projeto nas fases iniciais - a sua utilização nestas fases é meramente indicativa visto que, para existir uma avaliação correta de todos os parâmetros apresentados, é necessário que o edifício esteja construído para que seja possível ter uma avaliação correta e real do seu desempenho sustentável.

A avaliação objetiva da sustentabilidade permite a promoção de práticas de projeto e construções mais sustentáveis, a implementação prática de esquemas de incentivos públicos e privados à construção sustentável, os projetistas podem utilizar a ferramenta para comunicar com os clientes acerca do nível de sustentabilidade que se pretende atingir, assim como os promotores podem ter um instrumento para determinar o valor de venda dos seus edifícios num contexto de sustentabilidade. Por outro lado, os clientes podem obter informação de confiança acerca da sustentabilidade do edifício antes de o adquirirem ou de o arrendarem (SBTool^{PT}, 2010). Os indicadores avaliados por esta metodologia encontram-se descritos no Quadro 6.

Deste modo, o presente estudo também se baseou nesta metodologia para a análise, não só da dimensão económica mas também das dimensões ambiental e social por forma a viabilizar e fiabilizar o estudo, assim como, tornar os indicadores seleccionados consistentes.

Quadro 6 - Indicadores de sustentabilidade avaliados pelo SBTool^{PT}

Dimensão	Categorias	Parâmetros
Ambiental	C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	Valor agregado das categorias de impacto ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano
	C2 – Uso do Solo e Biodiversidade	Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível Índice de impermeabilização Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones Percentagem de área em planta com reflectância igual ou superior a 60%
		Consumo de energia primária não renovável na fase de Utilização Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis
		Percentagem em custo de materiais reutilizados Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos
	C5 - Utilização eficiente da água e efluentes	Volume anual de água consumido per capita no interior do Edifício Percentagem de redução do consumo de água potável
Social	C6 - Conforto e saúde dos ocupantes	Potencial de ventilação natural Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV Nível de conforto térmico médio anual Média do Fator de Luz do Dia Médio Nível médio de isolamento acústico
	C7 - Acessibilidade	Índice de acessibilidade a transportes públicos Índice de acessibilidades a amenidades
	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	Disponibilidade e conteúdo do Manual de Utilização do edifício
Económica	C9 - Custos de ciclo de vida	Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil

LEED

A metodologia LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) foi desenvolvida pela USGBC, em 1998, nos Estados Unidos (Bureau Veritas Portugal, 2007). LEED é uma metodologia baseada no consenso, que serviu como impulsionador do mercado, através da verificação/certificação de edifícios verdes. De edifícios e casas individuais para bairros e comunidades, LEED está a transformar a forma como os ambientes são projetados, construídos e operados (Bureau Veritas Portugal, 2007). Esta metodologia analisa grande parte do ciclo de vida do empreendimento, desde a produção à demolição do edifício, avaliando, por exemplo (Chiozzotto, 2011):

- a) Reciclagem ou demolição dos materiais;
- b) Eficiência energética;
- c) Reaproveitamento de águas;
- d) Recolha de resíduos.

O processo LEED demonstra inovação, gestão ambiental e responsabilidade social. Assim, fornece aos proprietários e aos operadores as ferramentas que eles precisam para o bom desempenho do seu edifício, oferecendo deste modo o conforto que os ocupantes necessitam num edifício (LEED, 2012). Esta metodologia baseia-se na utilização de um quadro, tipo *check-list*, para identificar e implementar medidas práticas na construção sustentável (Bureau Veritas Portugal, 2007).

A metodologia LEED é uma abordagem holística e possui uma lista de verificação com base em nove áreas principais (LEED; 2010):

- a) Sustentabilidade do local;
- b) Eficiência da água;
- c) Energia e atmosfera;
- d) Materiais e recursos;
- e) Qualidade do ar interior;
- f) Locais e articulações;
- g) Conscientização e educação;
- h) Inovação;
- i) Prioridade regional.

CASBEE

A CASBEE baseia-se em três conceitos principais (Takashi Akimoto Shibaura Institute of Technology, 2010):

1. Consideração das fases - construção, operação e manutenção - do ciclo de vida dos edifícios;
2. Dois aspetos ambientais: a qualidade ambiental e a qualidade do desempenho do edifício;
3. Eficiência ambiental do edifício (BEE) como um indicador baseado na eco-eficiência.

Através de um extenso programa de pesquisa e publicação de resultados, o CASBEE foi considerado um dos melhores métodos, já disponíveis para incentivar os clientes, proprietários, projetistas e utilizadores a desenvolverem e promoverem práticas para uma construção sustentável (CASBEE, 2011). Os resultados de avaliação para cada um dos itens de avaliação são apresentados com a pontuação Q que significa a "qualidade ambiente de construção e desempenho" e LR que representa a "redução das cargas ambientais do edifício". O processo de avaliação é baseado numa folha de pontuação. Esta folha é estruturada em duas categorias de avaliação e seis secções, como é apresentado no Quadro 7 (IBEC, 2009b, IBEC, 2009a, IBEC, 2009c).

Quadro 7 - Principais categorias de avaliação e secções da folha de registo no sistema CASBEE

Categorias de avaliação	Secção
Q - Qualidade, Ambiente e Desempenho da Construção	Q 1 Ambiente interior
	Q 2 Serviço de qualidade
	Q 3 Ambiente ao ar livre no local
LR - Redução Cargas Ambientais do Edifício	LR 1 Energia
	LR 2 Recursos e materiais
	LR 3 Ambiente <i>off-site</i>

DGNB

A metodologia DGNB oferece uma descrição objetiva da avaliação da sustentabilidade nos edifícios (DGNB, 2012). Esta metodologia é aplicada nas fases de projeto/design, construção e uso/operação (Andrade e Bragança, 2011). Devido à sua flexibilidade, pode ser adaptado com precisão para vários usos de um edifício e mesmo para satisfazer os requisitos

específicos de cada país, podendo, deste modo ser aplicado internacionalmente. A avaliação da sustentabilidade é aplicada na qualidade, economia, aspetos socioculturais, tecnologia (DGNB, 2012). A abordagem DGNB compreende seis tópicos num total de 49 indicadores de sustentabilidade (14 foram adiados): (i) qualidade ecológica; (ii) qualidade económica, (iii) a qualidade sócio-cultural e funcional, (iv) qualidade técnica, (v) qualidade do processo; (vi) qualidade do local (Quadro 8).

Quadro 8 - Lista de critérios do sistema de certificação DGNB

Critérios principais	Critérios de grupo	Critérios
Qualidade ecológica	Análise do Ciclo de Vida	Potencial de Aquecimento Global
		Potencial de destruição da camada de ozono
		Criação fotoquímica de ozono
		Potencial de acidificação
		Potencial Eutrofização
	Efeitos sobre o ambiente global e local	Impacte ambiental local Uso sustentável dos recursos / madeira Microclima
Qualidade económica	Consumo de recursos e geração de resíduos	Energia primária não-renovável Energia primária total e proporção de energia primária renovável Água potável e águas residuais Uso da terra
	Custos ciclo de vida	Custos de construção relacionados com o ciclo de vida
	Desempenho económico	Sustentabilidade para uso de terceiros
	Conforto, saúde e usuário	O conforto térmico no inverno O conforto térmico no verão Qualidade do ar interior Conforto acústico Conforto Visual Influência do usuário sobre o funcionamento do edifício Qualidade dos espaços ao ar livre Segurança e segurança
Sócio-cultural e Funcional de Qualidade	Funcionalidade	Acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida Uso eficiente de área útil Adaptabilidade Acesso ao público Acesso a bicicletas
		Projeto e planeamento urbano de qualidade através da competição
	Qualidade estética	

Critérios principais	Critérios de grupo	Critérios
Qualidade	Qualidade técnica	Inclusão da arte pública
		Proteção contra incêndio
		Ruído de proteção, controlo de emissões
		Qualidade envolvente do edifício
		Facilidade de limpeza e manutenção
		Facilidade de desmontagem e reciclagem
Qualidade do Processo	Qualidade de planeamento	Definição do projeto
		Planeamento integrado
		Projeto de construção Integral
		Aspetos Sustentáveis em fase de concurso
		Documentação para gestão de instalações
		Impacte Ambiental do processo de construção do solo/ construção
Qualidade da localização	Qualidade de construção	Pré-qualificação de empreiteiros
		Construção de garantia de qualidade
		Comissionamento sistemático
		Localização de riscos do solo
		Condições de localização do <i>Site</i>
		A imagem pública e as condições sociais
		Acesso ao transporte
		Acesso específica às instalações de uso
		Conexões para utilitários

PERFECTION

PERFECTION é um projeto Europeu, cujo objetivo consistiu na identificação e desenvolvimento de indicadores chave associados ao conforto, saúde e segurança no interior dos edifícios - KPI (Key Indoor Performance Indicators). Este foi desenvolvido para ser aplicado a novos projetos de modo a minimizar o impacto ambiental no interior dos edifícios, através da melhoria do desempenho social. Este projeto foi realizado pelo *Building Research Institute* e envolve dez outros participantes. A metodologia PERFECTION foi testada em mais de dez casos de estudo relativos a edifícios em toda a Europa e foram obtidos resultados muito promissores. Deste modo, os indicadores indicados no Quadro 9 são referentes ao desempenho do ambiente interior e permitem que os proprietários e os projetistas do edifício identifiquem os pontos críticos na fase de projeto, de forma a obter soluções de maior qualidade para a fase de operação do edifício (Desmyter e Lefèbvre, 2009).

Quadro 9 - Indicadores de Sustentabilidade da metodologia PERFECTION

Indicadores de sustentabilidade	Categorias
Saúde e conforto	Risco o crescimento de fungos
	Ventilação/ CO ₂
	Fontes de combustão/ Infiltração
	Partículas
	Qualidade de água potável
	Temperatura
	Iluminação
	Fator luz do dia
	Nível de ruído de fundo
	Tempo de reverberação
Proteção e segurança	Segurança de utilização
	Sentimento de segurança
	Atender atual regulamento
	Tipo de edifício específico
	Segurança pessoal e material
	Segurança das informações
Usabilidade	Confiabilidade em casos excepcionais
	Acesso no edifício
	<i>Wayfinding</i>
	Visualização para o exterior
	Privacidade
	Sentimentos e sensações
Adaptabilidade e facilidade de manutenção	Disponibilidade e qualidade dos espaços de lazer
	Versatilidade e proteção
	Adaptabilidade às alterações climáticas
	Património cultural
	Disponibilidade de serviços no edifício
	Limpeza
	Manutenção

4.3.3 Normalização Internacional

A construção de ferramentas de avaliação ambiental muitas vezes não utiliza a vida útil de um edifício nas respetivas avaliações, ou seja, o tempo de vida útil é tomado como dado sem posterior análise. No entanto, um edifício pode incluir mais de 60 materiais básicos e 2.000 produtos diferentes em todo o ciclo de vida (Kohler e Moffatt, 2003). A vida útil das zonas inacessíveis do edifício deve ser o mesmo que o tempo de vida útil do edifício, mas o tempo de vida útil das zonas acessíveis pode ser mais curto (ISO, 2000). Quando o tempo de vida útil das zonas acessíveis é mais curto, estas necessitam de manutenção ou remodelação

durante a vida útil da construção. Deste modo, a manutenção e renovação têm impactes ambientais. A forma como a vida útil dos produtos e a construção influenciam nos resultados da avaliação ambiental deve ser analisada cuidadosamente (Haapio e Viitaniemi, 2008).

Assim, apesar de ser vasta a existência de ferramentas e metodologias de avaliação da sustentabilidade em edifícios, estas possuem problemas inerentes e variáveis. Por tudo isto, a ISO procurou uma harmonização na avaliação relativa à sustentabilidade na construção (Haapio e Viitaniemi, 2008, FOLVIK, 2009). A sustentabilidade é uma abordagem “*triple bottom down*” baseada no meio ambiente, na sociedade e na economia. Cada um dos vários métodos de avaliação existentes têm diferentes e/ou sobreposição de indicadores para cada dimensão da sustentabilidade. A escolha dos indicadores nem sempre é um procedimento exato e somente em 2010 foi lançado um padrão pela ISO - ISO21929: 2010 para auxiliar o processo de seleção de indicadores. No que diz respeito aos edifícios em estrutura metálica, nenhuma das metodologias existentes está completamente adaptada às suas propriedades, deixando para trás alguns dos principais benefícios do aço como material sustentável (Podpora *et al.*, 2011). No início dos anos noventa, quando a ISO trabalhou na padronização, as primeiras normas para avaliação ambiental do ciclo de vida foram desenvolvidas:

- (i) ISO 14040 (ISO 14040, 1997);
- (ii) ISO 14041 (ISO 14041, 1998);
- (iii) ISO 14042 (ISO 14042, 2000);
- (iv) ISO 14043 (ISO 14043, 2000).

Em 2006, estas foram revistas e procedeu-se à renovação das versões, sendo editadas:

- (i) ISO 14040 - Princípios e quadro (ISO 14040, 2006);
- (ii) ISO 14044 - Requisitos e diretrizes (ISO 14044, 2006).

Estas substituíram as normas ISO 14041, 14042 e 14043. Juntas descrevem os princípios e requisitos, o enquadramento e as orientações para a LCA, o objetivo e o propósito, análise de inventário do ciclo de vida (LCI), a avaliação de impacto do ciclo de vida (LCIA), a interpretação do ciclo de vida e crítica do LCA, a relação entre as fases de LCA e as condições para a utilização de escolhas de valor e elementos opcionais (ISO, 2011). As normas ISO 14040 e 14044 foram desenvolvidas especificamente para avaliar produtos, processos e serviços. Embora os métodos de LCA possam ser aplicados diretamente no sector da construção (materiais de construção, edifícios ou mesmo grupos de edifícios) não é uma

tarefa fácil visto que os edifícios têm características excepcionais, como por exemplo (IEA, 2001): (i) a expectativa de vida de um edifício é longa e desconhecida, (ii) os edifícios são específicos do local e muitos dos impactes são locais, (iii) a composição dos edifícios e dos seus componentes / produtos é heterogénea, (iv) o ciclo de vida do edifício inclui as fases que possuem diversos impactes ambientais (utilização, construção e demolição), (v) um edifício é multifuncional, o que torna difícil a escolha de uma unidade funcional apropriada, (vi) um edifício cria um ambiente interior que pode ser avaliado em termos de conforto e saúde dos ocupantes (vii) os edifícios estão intimamente integrados com outros elementos do ambiente de construção, em particular infraestruturas urbanas.

No que diz respeito à Análise de Custos do Ciclo de Vida para edifícios, as seguintes normas fornecem orientações para a realização desta análise:

- (i) ISO 15686-5:2008 (ISO 15686-5, 2008);
- (ii) ISO/TC59/SC14.

O Custo do Ciclo de Vida (LCC) permite identificar e avaliar os custos relevantes às fases de operação, manutenção e disposição de um edifício, em fase de projeto. A “*Social Life-cycle Assessment*” (SLCA), ainda não foi padronizada individualmente pela ISO. No entanto, há um responsável padrão para fornecer diretrizes para as empresas de responsabilidade social corporativa: ISO 26000:2010. De acordo com a ISO, esta norma destina-se a ajudar as organizações a contribuírem para o desenvolvimento sustentável, indo para além da conformidade legal, reconhecendo que o cumprimento do direito é um dever fundamental de qualquer organização e uma parte essencial da responsabilidade social. A ISO 26000 também indica que a sociedade, diversidade ambiental, jurídica, cultural, política e organizacional, bem como as diferenças nas condições económicas, deve ser consistente com as normas internacionais. Não obstante, a ISO/TC 59 (Construção Civil) e a SC 17 (Sustentabilidade na Construção Civil) têm vindo a desenvolver padrões para a sustentabilidade dos edifícios. A ISO 15392:2008 identifica e estabelece os princípios gerais para a sustentabilidade relacionada a edifícios e outras obras de construção, ao longo do ciclo de vida que, do berço ao túmulo. Estes princípios gerais visam abordar questões específicas e aspetos de sustentabilidade relevantes para a construção e engenharia civil de obras de construção, contribuindo para a sua melhoria. No entanto, esta norma não fornece *benchmarking* para a avaliação. As series da ISO 21929 - 21929-1 e 21929-2 - fornecem um quadro com recomendações e diretrizes para o desenvolvimento e seleção de indicadores de

sustentabilidade adequados para os edifícios e obras de construção. O quadro proposto inclui uma lista de indicadores ambientais, sociais e económicos para avaliação da sustentabilidade dos edifícios e descreve como eles devem ser utilizados. Alguns dos indicadores apresentados são obrigatórios enquanto outros podem ser úteis para definir objetivos para a avaliação dos edifícios sustentáveis. Para ajudar a seleção dos indicadores existem regras para o estabelecimento de um sistema completo de indicadores. Apesar de auxiliarem na identificação e desenvolvimento dos indicadores de sustentabilidade, a ISO 21929-1 e a ISO 21929-2 não apresentam factores de ponderação, pelo que estes devem ser executados pelos usuários. A elaboração de declarações ambientais de produtos (EPD) e a criação de produtos são normalizadas pela ISO 21930:2007. Esta norma complementa a ISO 14025 para o tipo III EPD de produtos de construção, fornecendo os princípios, as especificações e as exigências (Andrade, 2011). A ISO/TS 21929-1:2011 estabelece um conjunto básico de indicadores a ter em consideração na utilização e desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade para avaliar o desempenho sustentável de edifícios novos ou já existentes. Estes encontram-se relacionados com a fase de conceção, construção, operação, manutenção, renovação e fim da vida. Em conjunto, os indicadores fornecem medidas para expressar a contribuição de um edifício para a sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Estes indicadores representam aspetos referentes a edifícios que tenham impacto em áreas de proteção relacionados à sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

O Comité Europeu de Normalização (CEN) desenvolveu métodos normalizados para a avaliação da sustentabilidade, tanto para as novas construções como para as já existentes, assim como normas para as EPD na construção (Haapio e Viitaniemi, 2008, FOLVIK, 2009). Desde 2005, foram desenvolvidas as seguintes normas (CEN, 2009):

- i. CEN/TR 15941:2011 - Sustentabilidade das obras de construção. Declarações de produtos ambientais. Metodologia para seleção e uso de dados genéricos;
- ii. EN 15643-1:2011- Sustentabilidade das obras de construção. Avaliação de Sustentabilidade de edifícios. Parte 1: Quadro Geral;
- iii. EN 15643-2:2011 - Sustentabilidade das obras de construção. Avaliação dos edifícios. Parte 2: Estrutura para a avaliação do desempenho ambiental;
- iv. EN 15643-3: 2011 - Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação de edifícios - Parte 3: Quadro para a avaliação do desempenho social;
- v. EN 15643-4: 2011 - Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação de edifícios - Parte 4: Quadro para a avaliação do desempenho económico;

- vi. EN 15804: 2011 - Sustentabilidade das obras de construção - declaração ambiental do produto - as regras fundamentais para a categoria de produto dos produtos de construção;
- vii. EN 15978: 2010 - Sustentabilidade das obras de construção - Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios - Métodos de Cálculo;
- viii. EN 15942: 2010 "Sustentabilidade das obras de construção - declaração ambiental do produto;
- ix. CEN/TR 15941: 2010 - Sustentabilidade das obras de construção - declaração de produto ambiental - Metodologia para seleção e uso de dados genéricos.

No entanto, existem outras normas ainda em desenvolvimento e, assim, por publicar. Contudo, os atuais métodos de avaliação na construção possuem diversas limitações, o que resulta numa redução da sua eficácia e utilidade. Por consequência, existe uma maior exigência no que diz respeito às equipas de projeto relativamente à interação, comunicação e reconhecimento para que estes desenvolvam métodos de avaliação da sustentabilidade nos edifícios (Ding, 2008).

Deste modo, após uma análise e identificação das metodologias existentes e desenvolvidas será necessário proceder a uma seleção de indicadores com base nas vantagens apresentadas das diversas metodologias por forma a analisar e estudar consistentemente os indicadores e torna-los representativos das dimensões ambiental, económica e social, permitindo assim um estudo por inquéritos viável e fiável.

CAPÍTULO 5 - SUSTENTABILIDADE NA FASE DE PROJETO

5.1 Introdução

A crise que se faz sentir atualmente, a nível económico, social e ambiental, constitui uma grande preocupação para os projetistas e para os envolvidos na construção. Deste modo, é necessário caminhar/projetar para um desenvolvimento sustentável. Assim, os projetistas devem selecionar e aplicar soluções que apresentem elevado desempenho ambiental, funcional e económico na fase de projeto. A consideração de determinados Indicadores de Sustentabilidade no projeto, que englobem as três dimensões da sustentabilidade, permitirá obter soluções com rumo à implementação e desenvolvimento da sustentabilidade na construção. Neste sentido, é necessário aplicar metodologias de avaliação da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do edifício, nas suas fases preliminares, de modo a examinar quais as melhores soluções a implementar para minimizar o impacto ambiental dos edifícios, e de uma forma menos dispendiosa. O longo período de vida útil dos edifícios faz com que sejam necessárias ações de manutenção que, muitas vezes, implicam a utilização de novos materiais e, conseqüentemente, sejam dispendidas novas quantidades de energia. Desta forma, devem ser delineados cenários que prevejam a tipologia destes investimentos, quer em termos de materiais necessários, de custos, de tempo de vida espetável e soluções de deposição final. Neste sentido, a construção em estrutura metálica visa responder a uma construção mais viável no âmbito da sustentabilidade, devido às suas diversas características/vantagens, destacando-se o seu poder de reciclabilidade. Por tudo isto, estes aspetos levam a crer que a tecnologia construtiva é, de facto, uma mais-valia na promoção da construção sustentável, justificando assim o seu interesse neste estudo.

Por conseguinte, foi necessário ter-se um conhecimento claro sobre as decisões que são tomadas nas fases de concepção e de pré-projecto do edifício e das respetivas conseqüências, em termos da sustentabilidade do ciclo de vida. Isto permitiu identificar quais as melhores práticas e quais os pontos a melhorar. Assim o estudo consistiu na recolha de dados através de uma metodologia qualitativa – o inquérito – para a identificação, através das partes interessadas, dos índices de sustentabilidade. Os inquéritos possuem diversas vantagens sobre

outras metodologias, desde a sua eficiência na recolha de informação de um grande ou pequeno número de inquiridos, a sua flexibilidade em termos da grande variedade de informação que podem conter, a facilidade na sua administração ou até ao seu carácter económico em termos de recolha de dados.

A metodologia seguida para o desenvolvimento e aplicação dos inquéritos foi semelhante à apresentada por Ugwu *et al.* (2007) e Alwear e Clements-Croome (2010), a qual consiste: (i) inicialmente, por uma revisão da literatura; (ii) revisão crítica dos aspectos; (iii) desenvolvimento da versão final; (v) aplicação do inquérito; e, finalmente, (vi) análise de resultados. Os inquéritos foram administrados via e-mail, sendo utilizado um sistema de resposta rápido – escala de Likert – onde foi possível identificar, por exemplo a importância de um parâmetro, numa escala de 1 a 5 (sendo 1 referente a “Nunca”, 2 a “Raramente”, 3 a “Às vezes”, 4 a “Muitas vezes” e 5 a “Sempre”). Os resultados esperados do presente estudo baseiam-se em (i) quais os aspetos de sustentabilidade que *são* considerados nas fases iniciais do projeto e (ii) quais os aspetos de sustentabilidade que *podem ser* considerados nas fases iniciais do projeto.

5.2 Seleção de indicadores

A escolha de metodologias apropriadas é baseada em diferentes indicadores e critérios, em que os indicadores constituem, geralmente, uma combinação de vários parâmetros. Neste sentido, uma avaliação holística da sustentabilidade de um edifício é definida de acordo com critérios ambientais, económicos e sociais (Koukkari, 2011). De acordo com a ISO/CD 21929-2, “os indicadores são medidas quantitativas, qualitativas ou representativas de uma ou mais categorias de impactes ou classes de temas económicos, ambientais e sociais, para que a análise (avaliação) dos resultados possam ser atribuídos”. Com base nesta definição, a seleção dos indicadores, baseou-se na sua quantificação máxima possível, bem como na sua representatividade em termos das dimensões ambiental, económica e social, para a obtenção de resultados diversificados, válidos, fiáveis e generalizáveis (Quadro 10). A análise dos indicadores tem vindo a ser discutida entre os diferentes intervenientes. Existem diferentes abordagens para os indicadores devido às diferenças de tradições, de sociedades, de meio ambiente e de geografia. No entanto, existem cada vez mais abordagens genéricas disponíveis, as quais consistem num conjunto de núcleos e indicadores alternativos,

recomendações atribuídas com um determinado peso e procedimentos onde são atribuídas pontuações ou índices (Podpora *et al.*, 2011). Todas as metodologias envolvem abordagens diferentes para as fases do ciclo de vida de um edifício e nenhuma delas engloba todas as fases, mas BREEAM, LEED e SBTool são as metodologias que melhor se enquadram e que são mais viáveis desde a fase de projeto até à demolição de um edifício. Deste modo, as metodologias adotadas para a seleção dos indicadores a avaliar foram o BREEAM e SBTool^{PT}. Segundo Sansom (2008), BREEAM é o método de avaliação *líder* e o mais utilizado para a avaliação das dimensões ambientais e sociais nos edifícios, compreendendo uma lista de medidas para melhores práticas, bem como melhorias no que se refere ao desempenho do edifício, de modo a poderem ser implementadas. A metodologia SBTool^{PT}, segundo Mateus e Bragança (2006) está bem adaptada aos contextos sociais, ambientais e económicos portugueses.

Quadro 10 - Indicadores de Sustentabilidade selecionados

Dimensão	Categorias	Indicadores
Ambiente	Impacte ambiental e Eficiência Energética	Baixa emissão de CO ₂
		Eficiência
		Necessidades de energia
		Tecnologias de Baixo ou zero carbono
		Monitorização de energia
		Espaço para secagem de roupa
		Impacte ambiental de Ciclo de vida ¹
	Sustentabilidade local	Escolha do local
		Controlo do ruído
		Projeto de águas pluviais
		Ecologia local/ biodiversidade
		Impactes regionais
	Materiais e Recursos	Poluição luminosa
		Reutilização de materiais
		Conteúdo reciclado
		Fontes renováveis
		Fontes responsáveis
		Robustez/ Durabilidade

¹ Considerando várias categorias de impacte, como por exemplo, Potencial de aquecimento global; Potencial de Oxidação fotoquímica; Potencial depleção camada de ozono; Potencial de acidificação; Potencial de eutrofização; Potencial de depleção abiótico; Uso de energia renovável; uso de energia não renovável.

Dimensão	Categorias	Indicadores
		Facilidade de desmontagem, reutilização ou reciclagem
		Adaptabilidade
		Eficiência do espaço
	Eficiência da água	Reutilização / reciclagem
		Consumo de água
		Monitorização da água
	Desperdícios	Deteção de fugas
		Água incorporada na fase de construção
		Equipamentos de água eficientes
		Gestão de resíduos de construção
		Resíduos não perigosos
		Resíduos perigosos
		Efluentes líquidos
		Emissão de poeiras
Economia	Custos	Custos de ciclo de vida
		Acessibilidade
		Risco de investimento
		Custo de reassentamento de pessoas
		Custo / benefício da sociedade local
		Economia local
	Qualidade do ar interior	Conforto térmico
		Conforto visual
		Acústica
Sociedade		Ventilação
		Qualidade da água
		Higiene

5.2.1 Design dos questionários

O *design* dos questionários é um processo com múltiplos passos e em que cada etapa está claramente definida de modo a obter-se sucesso na recolha da informação até à apresentação dos resultados. Para o aumento da sua eficiência, o questionário deve ser *claro* (objetivos precisos), *fácil* (os inquiridos devem perceber facilmente o seu conteúdo), *fiável* (os dados recolhidos devem traduzir a opinião do inquirido), *analisável* (os dados devem ser sujeitos a análise estatística para se poder inferir resultados e tomar decisões) e *com intervalos de tempo*

definidos (o tempo entre o seu planeamento e a obtenção de resultados deve ser o menor possível para que seja útil à decisão).

Deste modo, antes da iniciação do questionário determinaram-se os objetivos do estudo. Como já referido no Capítulo 1, o objetivo deste estudo consiste no conhecimento claro sobre as decisões que são tomadas nas fases de conceção e de pré-projecto do edifício e das respetivas consequências, em termos da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida, e sobre a competitividade e tendências do mercado para esta tecnologia. Por conseguinte, para a obtenção de resultados válidos e fiáveis através da administração de um questionário/inquérito, torna-se necessário assegurar que a amostra é representativa da população, ou seja, que os indivíduos que não respondem são similares aos que respondem. Caso contrário, os resultados poderiam ser enviesados, uma vez que uma amostra representativa é aquela que reflete os aspetos típicos da população. Deste modo, é necessário caracterizar a amostra (por exemplo, relativamente à idade, empresa/cidade, anos de experiência profissional, função que desempenha na empresa) e definir o número de elementos da amostra que a representa. Assim, a informação relativa à idade dos indivíduos permite obter uma informação pormenorizada do individuo em questão, assim como qual a influência que este possui no tema em estudo. A empresa em que está inserido o individuo, assim como a cidade onde a empresa se situa, são fatores relevantes para uma amostragem abrangente. A experiência profissional e a função que o individuo desempenha na empresa permitem determinar se a amostra possui competências na área da sustentabilidade na construção. Considerando estes aspetos, o inquérito desenvolvido contemplou questões/itens que visaram obter dados sócio-demográficos dos inquiridos; seguidamente foram incluídas questões referentes ao tema do estudo.

De acordo com o objetivo do estudo, o inquérito foi construído com o intuito de compreender itens referentes a diversos indicadores de sustentabilidade, assim como as respetivas categorias, de forma a saber qual a frequência com que cada categoria e respectivos indicadores são consideradas na fase de projeto de um edifício. Para isto, foi utilizado um sistema de resposta rápido, i.e. escala de Likert, onde foi possível identificar, por exemplo a importância de um determinado indicador, numa escala de 1 a 5 (em que 1 significa “Nunca”, 2 “raramente”, 3 “Às vezes”, 4 “Muitas vezes” e 5 “Sempre”). Os Indicadores analisados são representativos das três dimensões da sustentabilidade, permitindo resultados para cada uma das dimensões. Para finalizar o estudo, tentou-se saber quais dos indicadores apresentados não

se adequam na fase de projeto, assim como os que deveriam ser incluídos e o porquê desta seleção. Neste sentido, o questionário consiste em duas partes principais: a primeira no que é feito (Indicadores de Sustentabilidade utilizados na atualidade) e a segunda no que deveria ser feito (Indicadores de Sustentabilidade que deveriam ser utilizados). Esta formulação do questionário foi com sentido propositado.

O questionário completo é apresentado no Anexo I, o qual insere, por exemplo, a questão “Na sua opinião, quais dos seguintes indicadores são considerados na fase de projeto de um edifício e com que frequência isso acontece?”.

5.2.2 Seleção da amostra/ Inquiridos

A amostra é constituída por 33 inquiridos, cuja distribuição é apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 - Número de inquiridos versus empresa

Empresa	Quantidade de inquiridos/empresa
Cillo - SGPS, S.A	1
O Feliz Metalomecânica	8
José Teixeira, Engenharia e Arquitetura	1
Construções Nelito	1
Pedrivalões, Lda	1
Intevial, S.A	1
SOPSEC, SA	1
Hisbra – Cachoeiro de Itapemirim, ES	1
Metaloviana, SA	1
Universidade do Minho	2
Reflexmovel	1
Trabalhador Independente	1
Triplicar Angola, Lda	1
QAV-Instalações Elétricas	1
Gabriel Couto Moçambique	1
Câmara Municipal de Amarante	6
NMCozinhas, Lda	1
Lovimec	1
FASE S.A.	1
Afaviias engenharia e construção, S.A	1

Estes inquiridos foram selecionados com base numa amostragem por conveniência. Procurou-se recrutar participantes de diferentes regiões de Portugal, de forma a obter uma perspetiva

abrangente da utilização de indicadores de sustentabilidade, na fase de projeto. Contudo, por se tratar de uma amostra por conveniência, a maior parte dos participantes que responderam ao inquérito trabalham na zona Norte. Importa ainda salientar que os inquiridos pertencem a diversas empresas, não só nacionais (Amarante, Felgueiras, Guimarães, Braga, Vila Real, Viana do Castelo, Vila Nova de Gaia, Maia, Paredes, Porto e Lisboa), como também internacionais (Angola, Brasil e Maputo), embora todos os inquiridos sejam de nacionalidade portuguesa. De referir que os inquiridos pertencentes às empresas estrangeiras possuem experiência tanto em Portugal como no estrangeiro.

As empresas encontram-se direta ou indiretamente ligadas ao âmbito da sustentabilidade na construção, ou seja, os inquiridos desempenham funções direcionadas à engenharia civil, lidando diariamente com os problemas associados à construção por forma a contribuírem para uma “construção sustentável”. A amostra inclui inquiridos de diferentes idades, bem como com diferentes experiências profissionais, compreendendo trabalhadores de várias empresas de construção e situadas em diversos locais, com o intuito de se obter diferentes perspetivas relativamente à questão da *sustentabilidade*.

5.2.3 Implementação dos questionários

Depois de realizado o inquérito, procedeu-se à implementação do mesmo com deslocação a uma parte das empresas inseridas no presente estudo e a outra com contacto via *e-mail* (Quadro 12), embora se tenha efetuado um contacto direto com os inquiridos, o que permitiu um maior número de respostas e facilitou a rapidez de resposta.

É de referir que inicialmente o presente inquérito tinha como objetivo ser distribuído a empresas e profissionais relacionados com a produção/distribuição de aço assim como relacionados com a construção metálica. Contudo, devido ao tempo limitado para a distribuição e obtenção dos resultados para a concretização da presente dissertação não permitiu abranger estes profissionais.

Para além disso, outras empresas foram contactadas, tanto pessoalmente como via *e-mail*, (Habimaranete; Socopul, S.A.; Metalcardoso; Metalocar). Contudo, não foi obtida qualquer resposta por parte destas empresas, embora tenha sido realizado um contacto persistente com os projetistas. Deste modo, foi estabelecido um prazo para a entrega dos questionários para

garantir a exequibilidade do estudo. A implementação dos inquéritos foi realizada durante um mês, com idas progressivas aos gabinetes de projeto e envio de *e-mails* diários. Para além de não terem sido obtidas respostas de diversas empresas (já referidas), a maioria dos inquiridos mostraram-se prestativos e recetivos relativamente ao estudo em análise. No entanto, as respostas obtidas foram obtidas quase no limite estipulado para a entrega dos questionários, justificando-se pelo trabalho excessivo por parte dos projetistas e pela extensão do questionário que foi administrado.

Quadro 12 - Tipo de distribuição dos questionários por empresas

Distribuição dos questionários	Empresa
Deslocação ao local	(a) Cillo - SGPS, S.A;
	(b) Lovimec;
	(c) NMcozinhas;
	(d) Câmara Municipal de Amarante;
	(e) José Teixeira, Engenharia e Arquitetura
Via e-mail	(f) O Feliz Metalomecânica;
	(g) Construções Nelito;
	(h) Pedrivalões Lda;
	(i) Intevial, S.A.;
	(j) Metaloviana, SA;
	(k) Universidade do Minho;
	(l) SOPSEC, SA; Hisbra – Cachoeiro de Itapemirim, ES;
	(m) Reflexmovel;
	(n) Triplicar Angola, Lda;
	(o) QAV-Instalações Elétricas;
	(p) Gabriel Couto Moçambique;
	(q) FASE, S.A.;
	(r) Afavias engenharia e construção, S.A.

5.3 Avaliação estatística de resultados

5.3.1 Características sociodemográficas da amostra

Idade

Os inquiridos possuem idades compreendidas entre os 23 e os 52 anos, sendo a média de idades de 32 anos (Quadro 13).

Quadro 13 - Características sócio-demográficas dos inquiridos: Idade

Média (anos)	Desvio padrão (anos)	Intervalo de idades (anos)
32	7	[23; 52]

Assim, verifica-se que a idade média dos inquiridos se enquadra numa camada etária jovem. Para além disto, os inquiridos possuem idades compreendidas entre os 23 anos e os 52 anos, o que traduz uma variedade significativa de idades, permitindo diferentes perspetivas relativamente à aplicação dos indicadores de sustentabilidade.

Experiência Profissional

Os inquiridos possuem, na sua maioria, uma experiência superior a 5 anos (55%), seguindo-se aqueles com experiência compreendida entre os 2 e os 5 anos (27%), como é possível comprovar através da Figura 29.

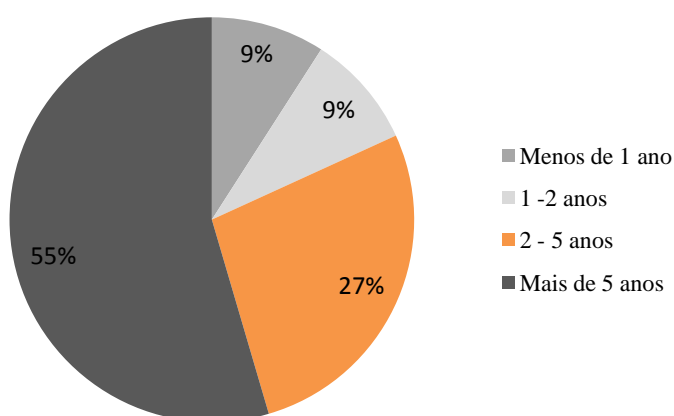


Figura 29 – Experiência Profissional da amostra

Deste modo, a maioria dos inquiridos (55%) possui uma experiência substancial na profissão que exerce. O facto de a maioria dos participantes ter uma experiência profissional superior a 5 anos atribui para uma maior validade ao estudo realizado, visto que esta considerável experiência profissional permite que os inquiridos possuam uma visão mais específica e íntegra da aplicação de indicadores de sustentabilidade na fase de projeto. Como é possível verificar através da Figura 29, uma percentagem pouco significativa da amostra (18%) possui uma experiência inferior a 2 anos, o que permitiu, assim, a obtenção de diferentes ideias/opiniões relativas à aplicação dos indicadores de sustentabilidade por pessoas em diferentes estádios da sua carreira profissional.

Profissão

A Figura 30 apresenta a constituição da amostra, que é maioritariamente composta por engenheiros civis (58%), sendo os restantes 42% referentes equitativamente a diretores de produção, diretores de obra, gestores de projetos, engenheiros de gestão industrial, técnicos superior de higiene e segurança no trabalho, engenheiros ambientais, desenhadores/projetistas e *controller* financeiro.

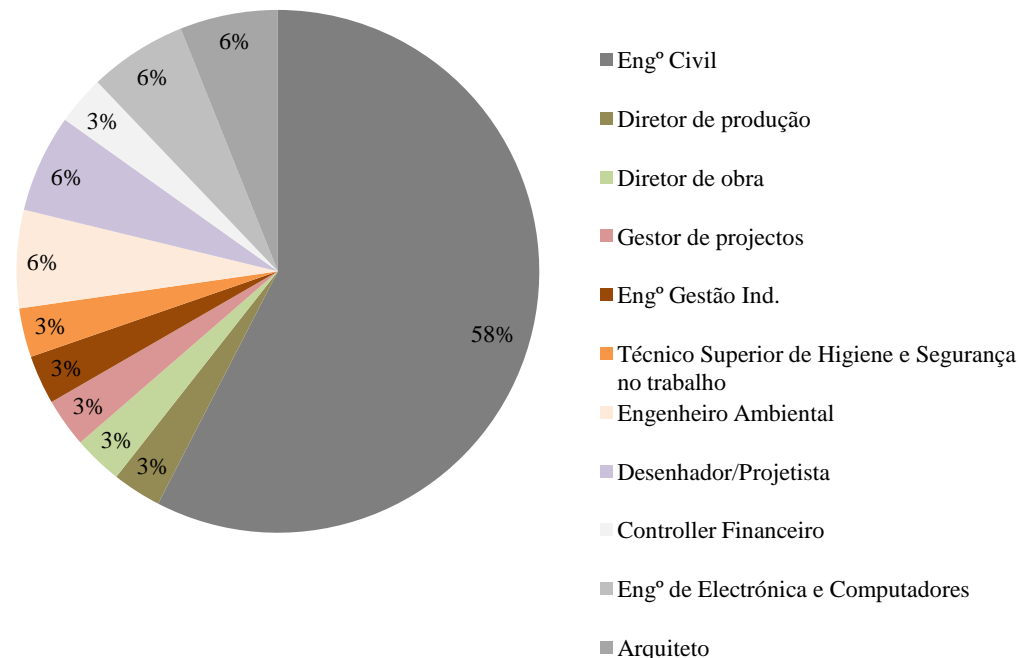


Figura 30 - Profissões respetivas aos inquiridos

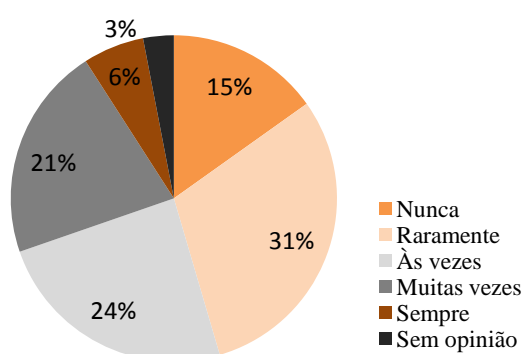
De entre todas as profissões incluídas na amostra, a Engenharia Civil é a que mais se destaca (58%). Dado que o tema do questionário consiste nos Indicadores de Sustentabilidade na construção, faz sentido que a amostragem seja maioritariamente constituída por profissionais relacionados com o tema em questão. Por outro lado, uma visão de profissionais não tão envolvidos no tema permitiu uma avaliação mais abrangente dos mesmos indicadores.

5.3.2 Indicadores de sustentabilidade na construção

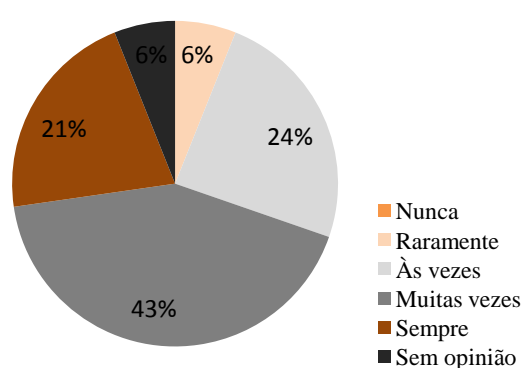
No que diz respeito às respostas dos inquiridos no sentido de consideração dos indicadores em fase de projeto na atualidade, apresentam-se no ANEXO II.

5.3.2.1 Impacte ambiental e eficiência energética

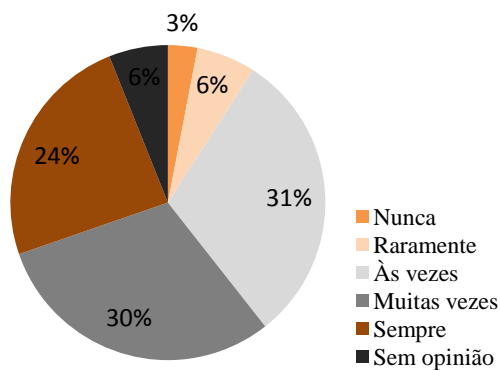
No que diz respeito aos indicadores de *impacte ambiental e eficiência energética* na categoria de Indicadores de Sustentabilidade na construção incluídos no questionário administrado, a maioria dos inquiridos revelou utilizar “muitas vezes” o indicador “eficiência” (42%); “muitas vezes” ou “às vezes” o indicador “necessidades de energia” (30% “ex aequo” para os dois valores da escala de resposta); “às vezes” o indicador “monitorização de energia” (42%) e “espaço para secagem de roupa” (42%); “raramente” os indicadores “baixa emissão de CO₂” (30%), “tecnologias de baixo ou zero-carbono” (39%) e “Impacte Ambiental de Ciclo de Vida” (30%). Neste âmbito, a frequência com que os indicadores da categoria *Impacte ambiental e eficiência energética* são considerados na fase de projeto de um determinado edifício é apresentada na Figura 31, seguidamente apresentada.



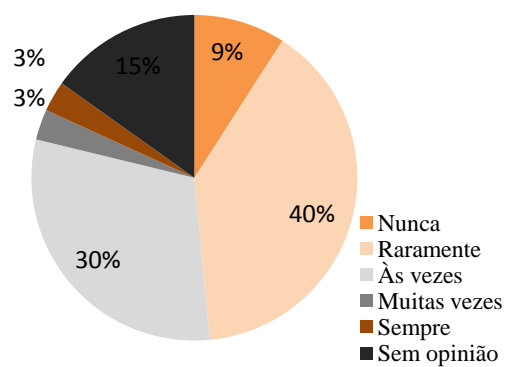
Painel A – Indicador “Baixa emissão de CO₂”



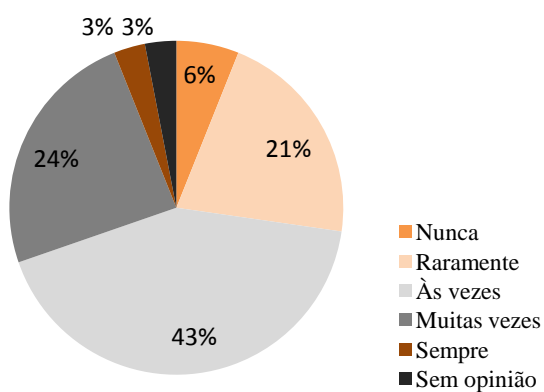
Painel B – Indicador “Eficiência”



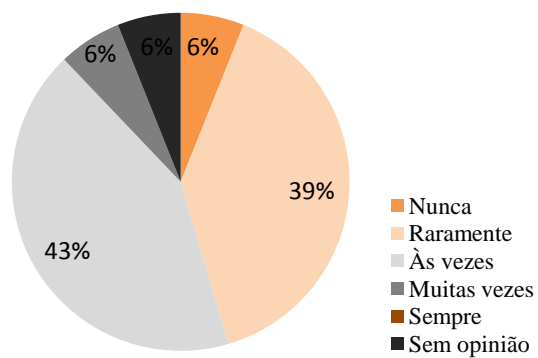
Painel C – Indicador “Necessidades de energia”



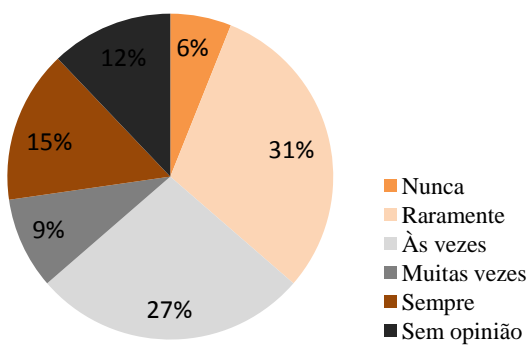
Painel D – Indicador “Tecnologias de baixo ou zero carbono”



Painel E – Indicador “Monitorização de energia”



Painel F – Indicador “Espaço para secagem de roupa”



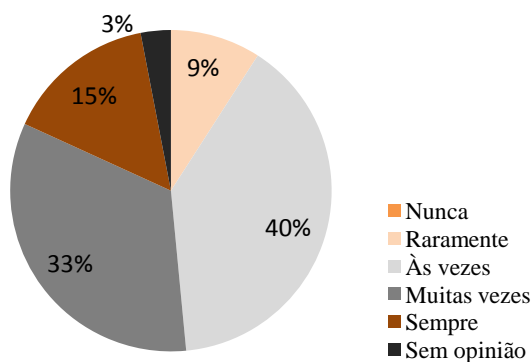
Painel G – Indicador “Impacte Ambiental de Ciclo de vida”

Figura 31 – Categoria “Impacte ambiental e eficiência energética”

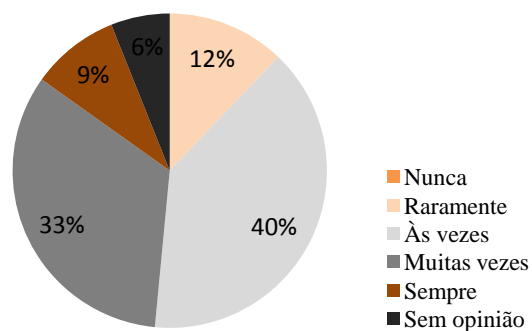
5.3.2.2 Sustentabilidade local

Em relação aos indicadores “escolha do local”, “controlo do ruído”, “projeto de águas pluviais”, “ecologia local/biodiversidade” e “impactes regionais”, os dados obtidos revelaram que a maioria dos inquiridos “às vezes” utiliza estes indicadores na fase de projeto (39%, 39%, 33%, 42% e 33%, respetivamente), enquanto o indicador “poluição luminosa” é considerado “raramente” (33%).

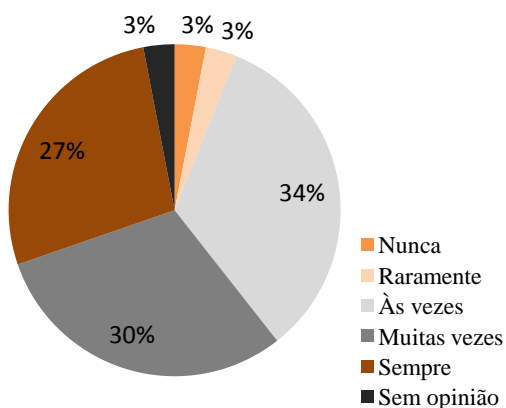
A percentagem de inquiridos que considera os indicadores da categoria *Sustentabilidade local* na fase de projeto de um determinado edifício é apresentada na Figura 32.



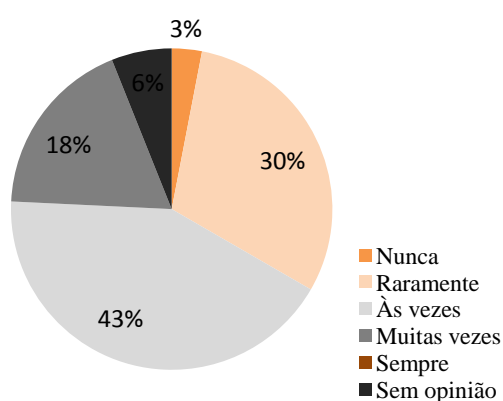
Painel A – Indicador “Escolha do local”



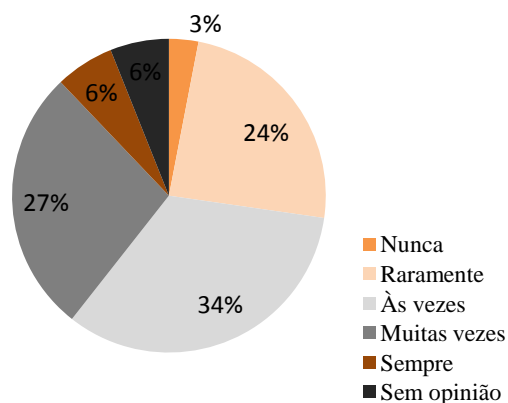
Painel B – Indicador “Controlo do ruído”



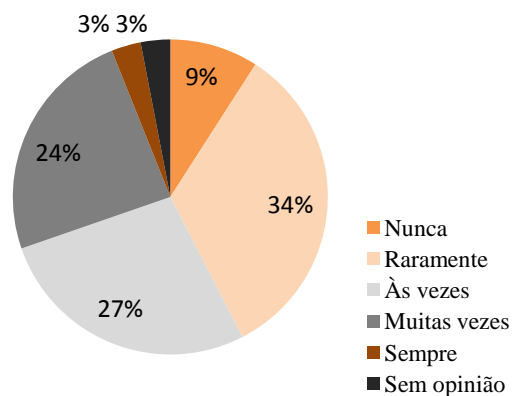
Painel C – Indicador “Projeto de águas pluviais”



Painel D – Indicador “Ecologia local/
Biodiversidade”



Painel E – Indicador “Impactes regionais”

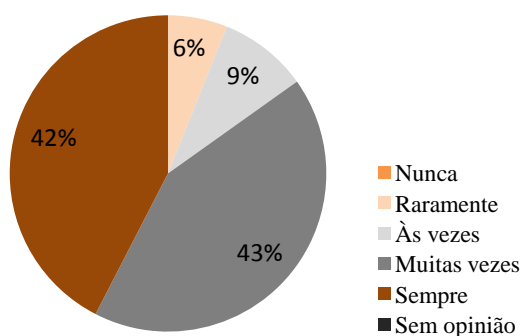


Painel F – Indicador “Poluição luminosa”

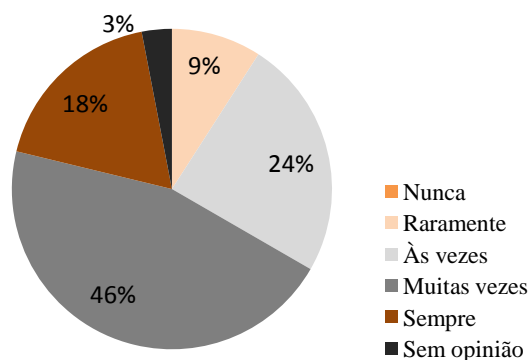
Figura 32 – Categoria “Sustentabilidade local”

5.3.2.3 Qualidade do ar interior

A maior percentagem da amostra refere que o indicador “acústica” é utilizada “sempre” (33%) na construção, sendo “muitas vezes” considerados os indicadores “conforto térmico” (42%), “conforto visual” (45%), “ventilação” (39%) e “higiene” (39%) e “às vezes” o indicador “qualidade da água”, indicado por 30% dos inquiridos. Assim, a percentagem correspondente aos inquiridos que selecionaram para que cada indicador da categoria *Qualidade do ar interior* deve ser considerado na fase de projeto de um determinado edifício é apresentada na Figura 33.



Painel A – Indicador “Conforto térmico”



Painel B – Indicador “Conforto visual”

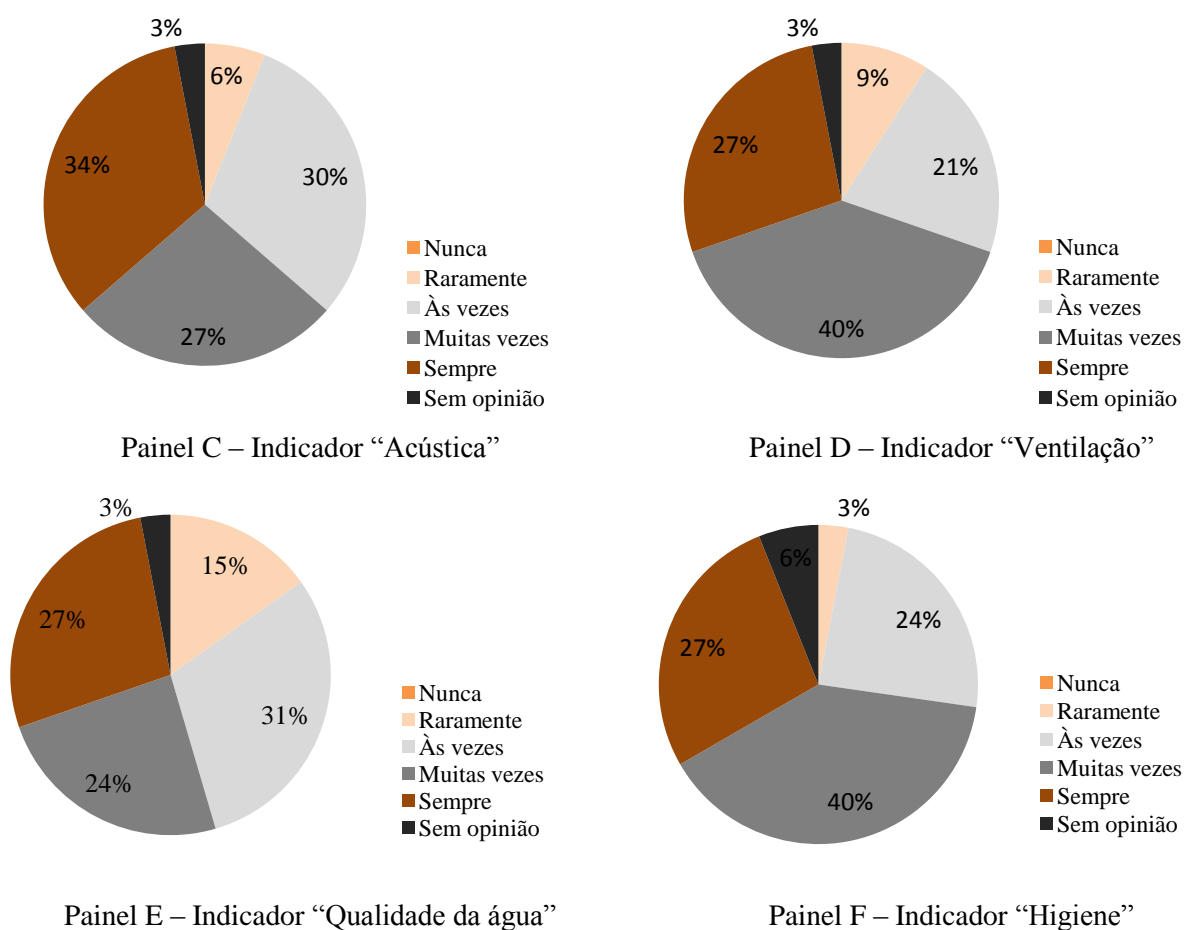
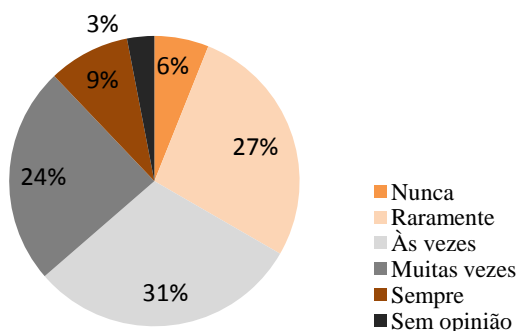


Figura 33 – Categoria “Qualidade do ar interior”

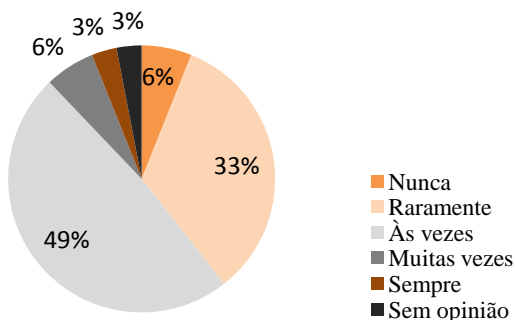
5.3.2.4 Materiais e Recursos

Em relação a este domínio, a maioria dos inquiridos revelou utilizar “muitas vezes” os indicadores “robustez/durabilidade” (52%) e “eficiência do espaço” (45%); “às vezes” os indicadores “reutilização de materiais” (30%), “conteúdo reciclado” (48%), “fontes responsáveis” (36%), “facilidade de desmontagem, reutilização ou reciclagem” (33%) e “Adaptabilidade” (48%); e “raramente” o indicador “fontes renováveis” (33%).

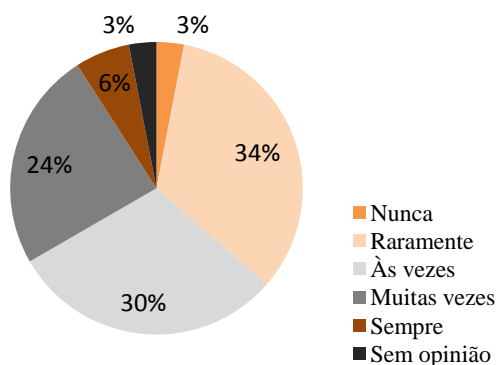
A frequência com que os indicadores inseridos na categoria *Materiais e Recursos* são considerados na fase de projeto de um determinado edifício é apresentada na Figura 34.



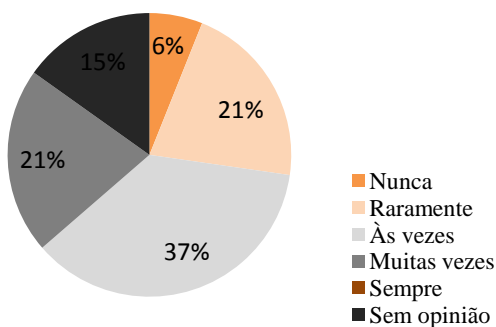
Painel A – Indicador “Reutilização de materiais”



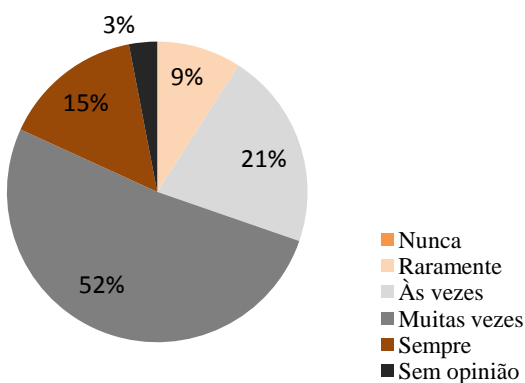
Painel B – Indicador “Conteúdo reciclado”



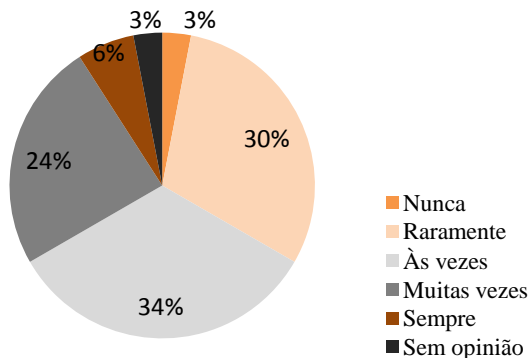
Painel C – Indicador “Fontes renováveis”



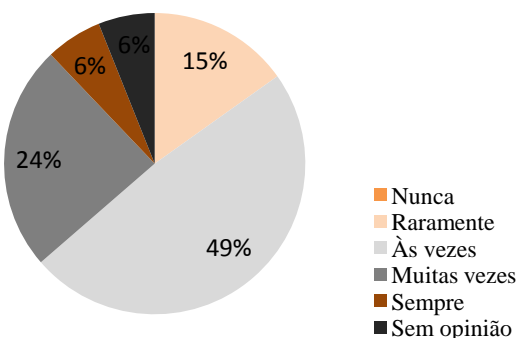
Painel D – Indicador “Fontes responsáveis”



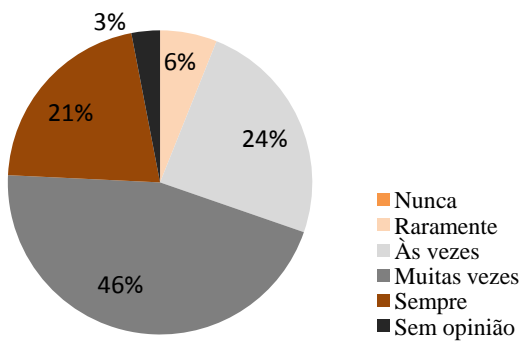
Painel E – Indicador “Robustez/Durabilidade”



Painel F – Indicador “Facilidade de desmontagem, reutilização”



Painel G – Indicador “Adaptabilidade”

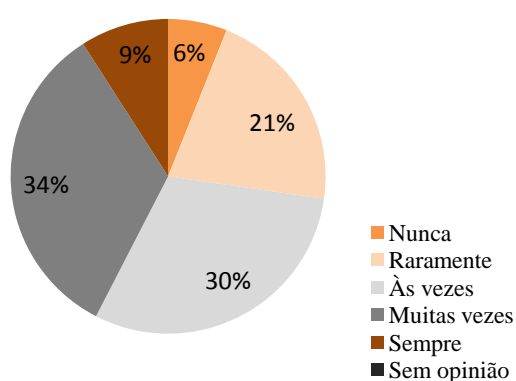


Painel H – Indicador “Eficiência do espaço”

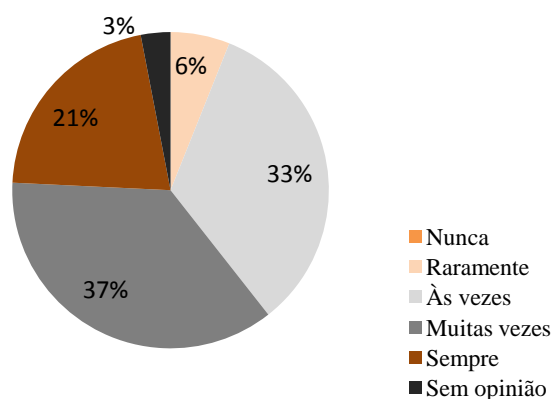
Figura 34 - Categoria “Materiais e Recursos”

5.3.2.5 Custos

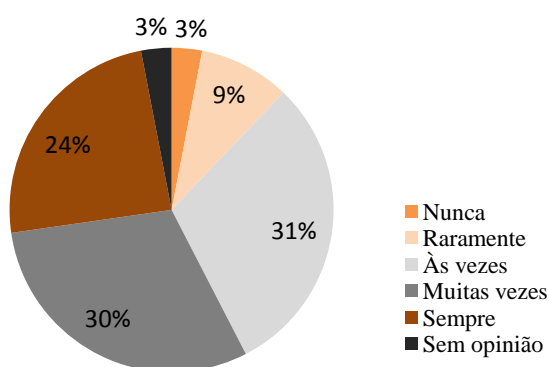
Os indicadores “custos de ciclo de vida”, “acessibilidade” e “custo/benefício da sociedade local” foram selecionados pela maioria dos inquiridos como sendo “muitas vezes” considerados na construção, representando 33%, 36% e 45% respetivamente; o indicador “risco de investimento” foi considerado “muitas vezes” ou “às vezes” (30% “*ex aequo*” para os dois valores da escala de resposta); e, por último, o indicador “economia local” é referido “às vezes” (33%) e o indicador “custo de reassentamento de pessoas” “raramente” na fase de projeto (42%). De uma forma mais específica, na Figura 35 são apresentadas as percentagens correspondentes aos indicadores da categoria *Custos* analisados.



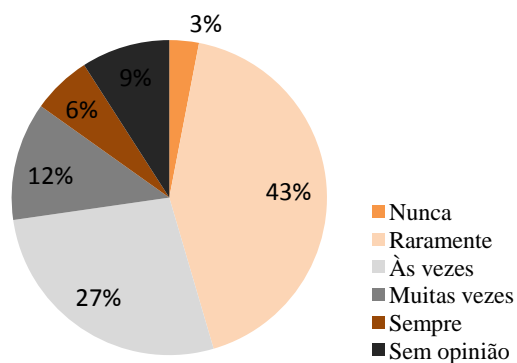
Painel A – Indicador “Custos de ciclo de vida”



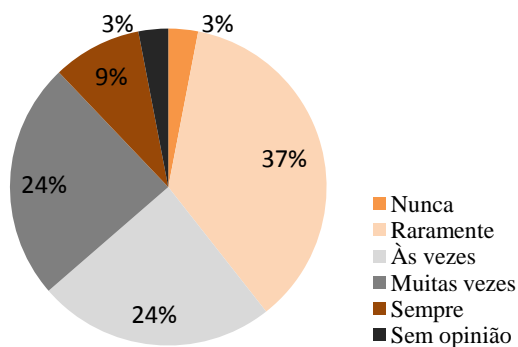
Painel B – Indicador “Acessibilidade”



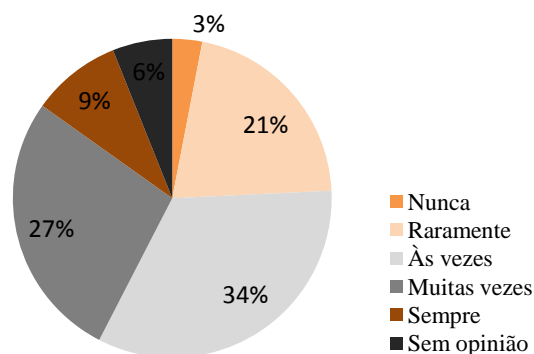
Painel C – Indicador “Risco de investimento”



Painel D – Indicador “Custo de reassentamento de pessoas”



Painel E – Indicador “Custo/ Benefício da sociedade local”



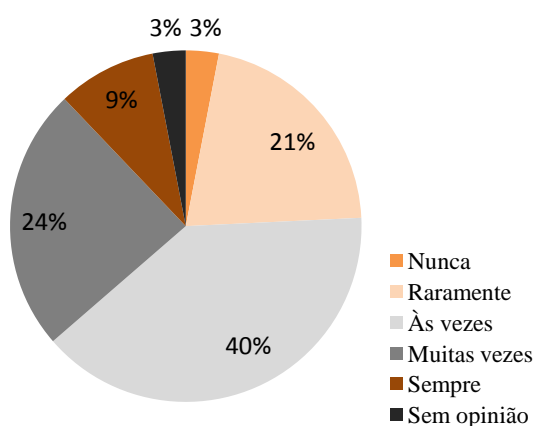
Painel F – Indicador “Economia local”

Figura 35 – Categoria “Custos”

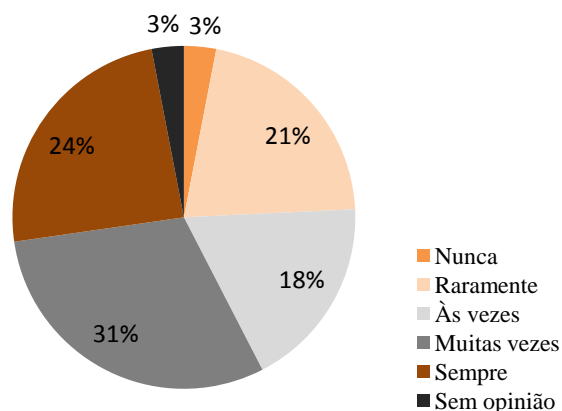
5.3.2.6 Eficiência da água

Relativamente à categoria *eficiência da água*, a maioria dos inquiridos revelou utilizar “muitas vezes” os indicadores “consumo de água” (30%), “detecção de fugas” (33%) e “muitas vezes” ou “raramente” “água incorporada na fase de construção” (27% “*ex aequo*” para os dois valores da escala de resposta), bem como “às vezes” os indicadores “reutilização/reciclagem” (39%), “monitorização da água” (36%) e “equipamentos de água eficientes” (42%).

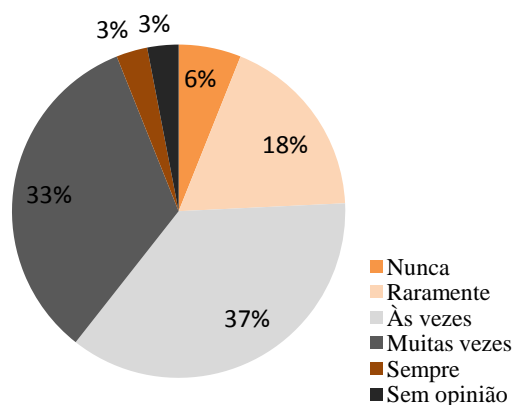
Neste sentido, a frequência com que os indicadores da categoria *Eficiência da água* acontecem na fase de projeto são apresentadas na Figura 36.



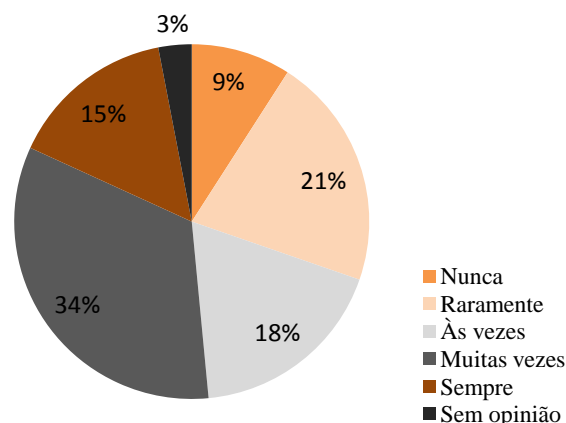
Painel A – Indicador “Reutilização/ Reciclagem”



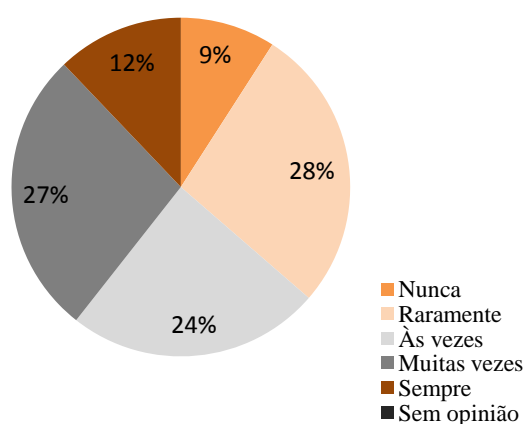
Painel B – Indicador “Consumo de água”



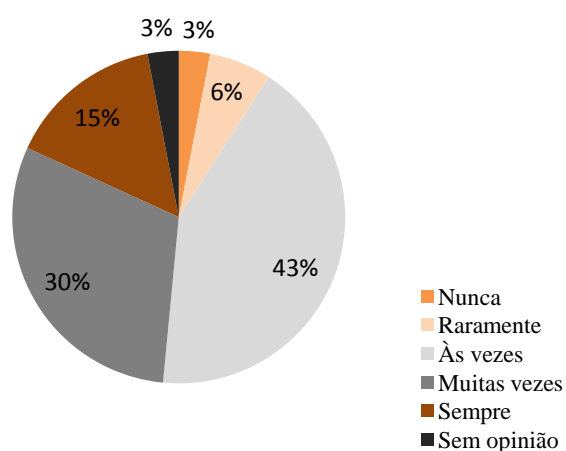
Painel C – Indicador “Monitorização da água”



Painel D – Indicador “Detecção de fugas”



Painel E – Indicador “Água incorporada na fase de construção”



Painel F – Indicador “Equipamentos de água eficientes”

Figura 36 – Categoria “Eficiência da água”

5.3.2.7 Desperdícios

A maior parte dos inquiridos revelou que considera, na fase de projeto, “muitas vezes” os indicadores “gestão de resíduos de construção” (45%) e “resíduos não perigosos” (39%), bem como “às vezes” os indicadores “resíduos perigosos” (36%), “efluentes líquidos” (45%) e “emissão de poeiras” (36%).

A frequência com que os indicadores da categoria *Desperdícios* são considerados na fase de projeto de um determinado edifício é apresentada na Figura 37, seguidamente apresentada.

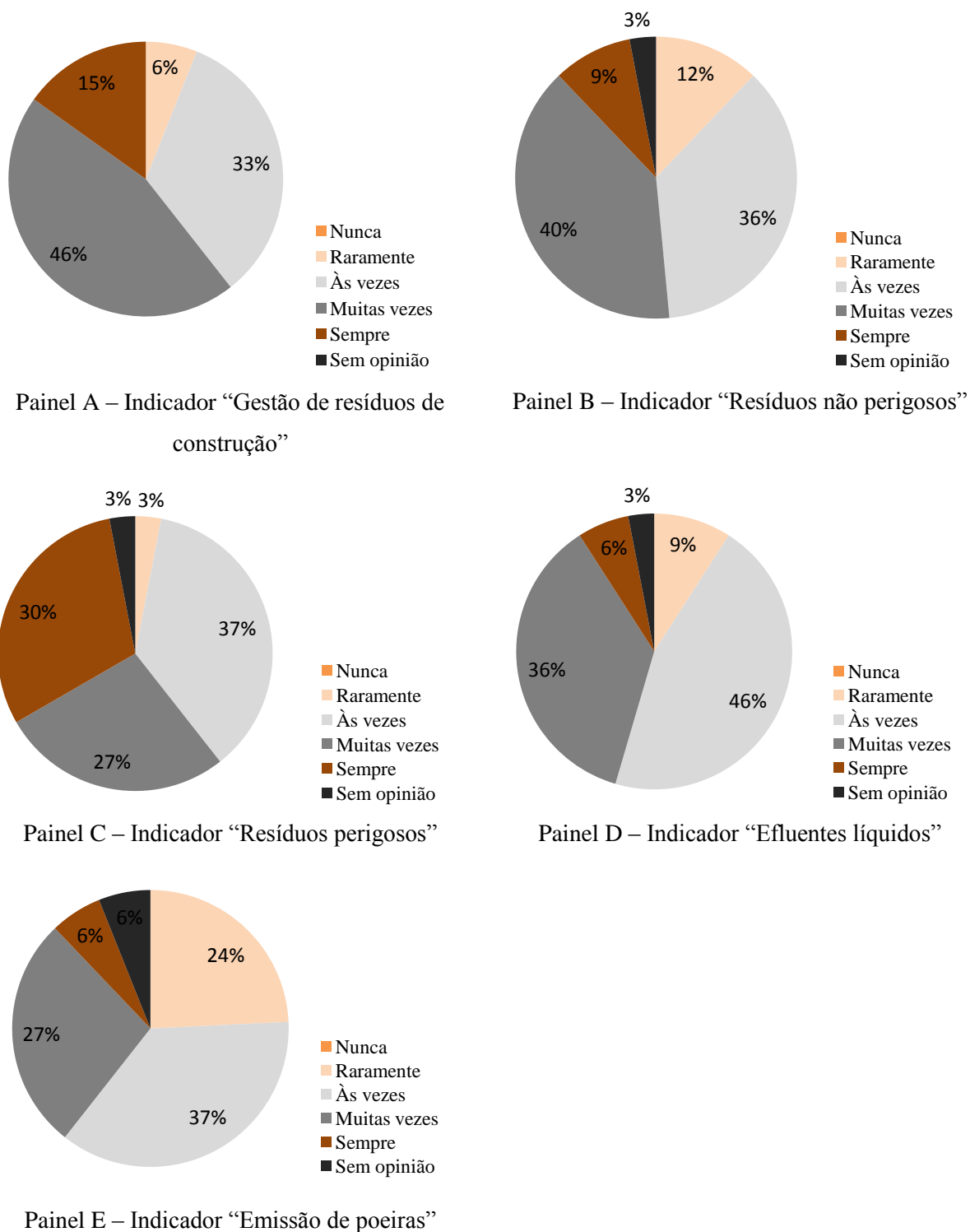


Figura 37 – Categoria “Desperdícios”

Relativamente aos dados adquiridos, de todos os indicadores selecionados, apenas o indicador “acústica”, pertencente à categoria *qualidade do ar interior*, foi considerado ser utilizado “sempre” na fase de projeto, enquanto os restantes variaram na escala de “raramente” a “muitas vezes”. Este resultado poderá ser uma consequência do facto de os inquiridos para

além de já se encontrarem consciencializados com a sustentabilidade na fase de projeto de um edifício é um caminho fundamental rumo às práticas “verdes” não aplicarem na realidade/prática. Este resultado indica a necessidade de se modificar as concepções e práticas dos projetistas, para que os impactes, tanto económicos como ambientais e sociais, resultantes das fases seguintes (de construção, de utilização e demolição), sejam reduzidos e, para além disso, para que se estabeleça como prioridade o conforto dos habitantes, na fase de utilização do edifício, e que os custos associados sejam proporcionais ao conforto.

Em suma, segundo a amostra, os indicadores que são considerados na fase de projeto de um edifício na atualidade são: “eficiência”, “necessidades de energia”, “projeto de águas pluviais”, “higiene”, “qualidade da água”, “ventilação”, “acústica”, “conforto visual”, “conforto térmico”, “eficiência do espaço”, “robustez/ durabilidade”, “risco de investimento”, “acessibilidade”, “consumo de água”, “resíduos perigosos”, “resíduos não perigosos” e “gestão de resíduos de construção”, como é demonstrado na Figura 38. Esta análise consistiu na seleção e agrupamento das respostas “muitas vezes” e “sempre” de cada indicador comparando-as com o grupo de respostas “nunca”, “raramente” e “às vezes” igualmente de cada indicador, selecionando os indicadores em que a percentagem referente a “muitas vezes” e “sempre” era superior à percentagem “nunca”, “raramente” e “às vezes”. No caso particular do indicador “escolha do local”, no âmbito da categoria *sustentabilidade local*, e do indicador “deteção de fugas”, no âmbito da categoria *eficiência da água*, a percentagem correspondente à soma de “muitas vezes” e “sempre” comparativamente com a soma de “nunca”, “raramente” e “às vezes” de cada um dos indicadores é a mesma, o que torna a análise destes indicadores indeterminada. Por tudo isto, estes indicadores foram excluídos da hipótese de serem considerados na fase de projeto, na atualidade. Deste modo, seria necessário alargar a amostra por forma a permitir uma análise concisa e determinada.

No entanto, o estudo permitiu identificar de uma forma generalizada quais os indicadores são inseridos atualmente na fase de projeto de um determinado edifício, como é apresentado na Figura 38.

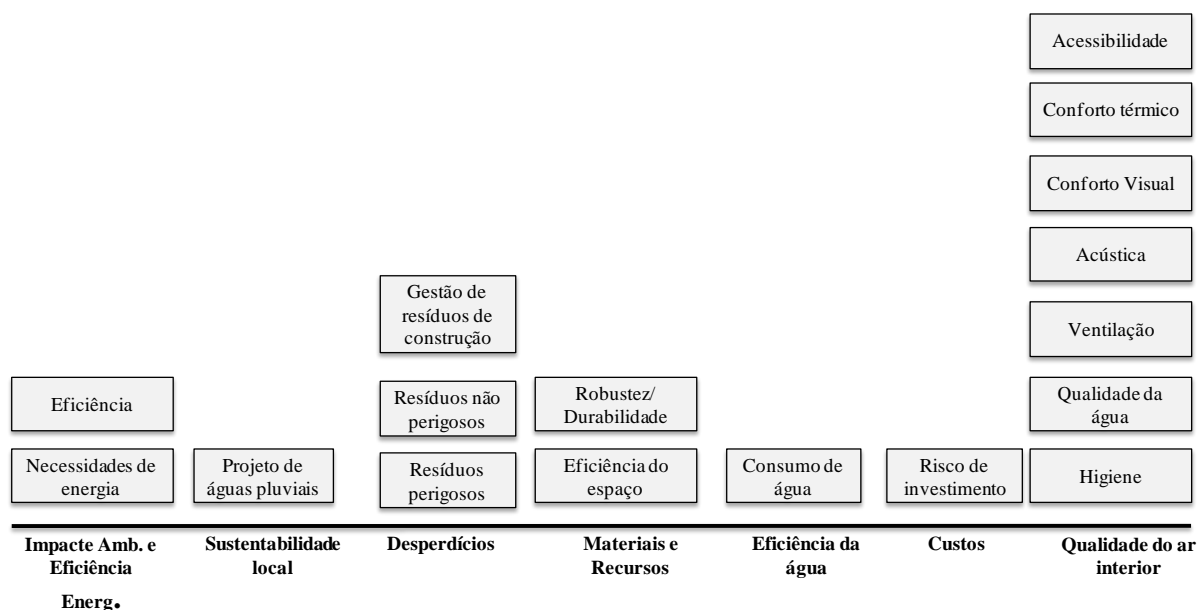


Figura 38 – Indicadores considerados na fase de projeto na atualidade

5.3.3 Indicadores de Sustentabilidade a considerar na fase de projeto

No que diz respeito aos *Indicadores de Sustentabilidade a considerar na fase de projeto*, os inquiridos revelaram que todos os indicadores propostos, inclusive os que já são aplicados na fase de projeto, devem ser incluídos, tendo destaque os indicadores “conforto térmico”, “fontes renováveis”, “acessibilidade” e “reutilização/reciclagem”, visto que 100% da amostra concordou na inclusão destes indicadores.

As respostas dos inquiridos são apresentadas no ANEXO II.

5.3.3.1 Impacte Ambiental e Eficiência Energética

Em relação ao *impacte ambiental e eficiência energética* na categoria de Indicadores de Sustentabilidade na construção incluídos no questionário administrado, a maioria dos inquiridos revelou que os indicadores “Baixa emissão de CO₂” (79%), “Eficiência” (97%), “Exigência elétrica” (88%), “Tecnologias de baixo ou zero-carbono” (70%), “Monitorização de energia” (79%) e “Espaço para secagem de roupa” (58%) devem ser inseridos na fase de projeto de um edifício.

Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Impacte Ambiental e Eficiência Energética* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 39, seguidamente apresentada.

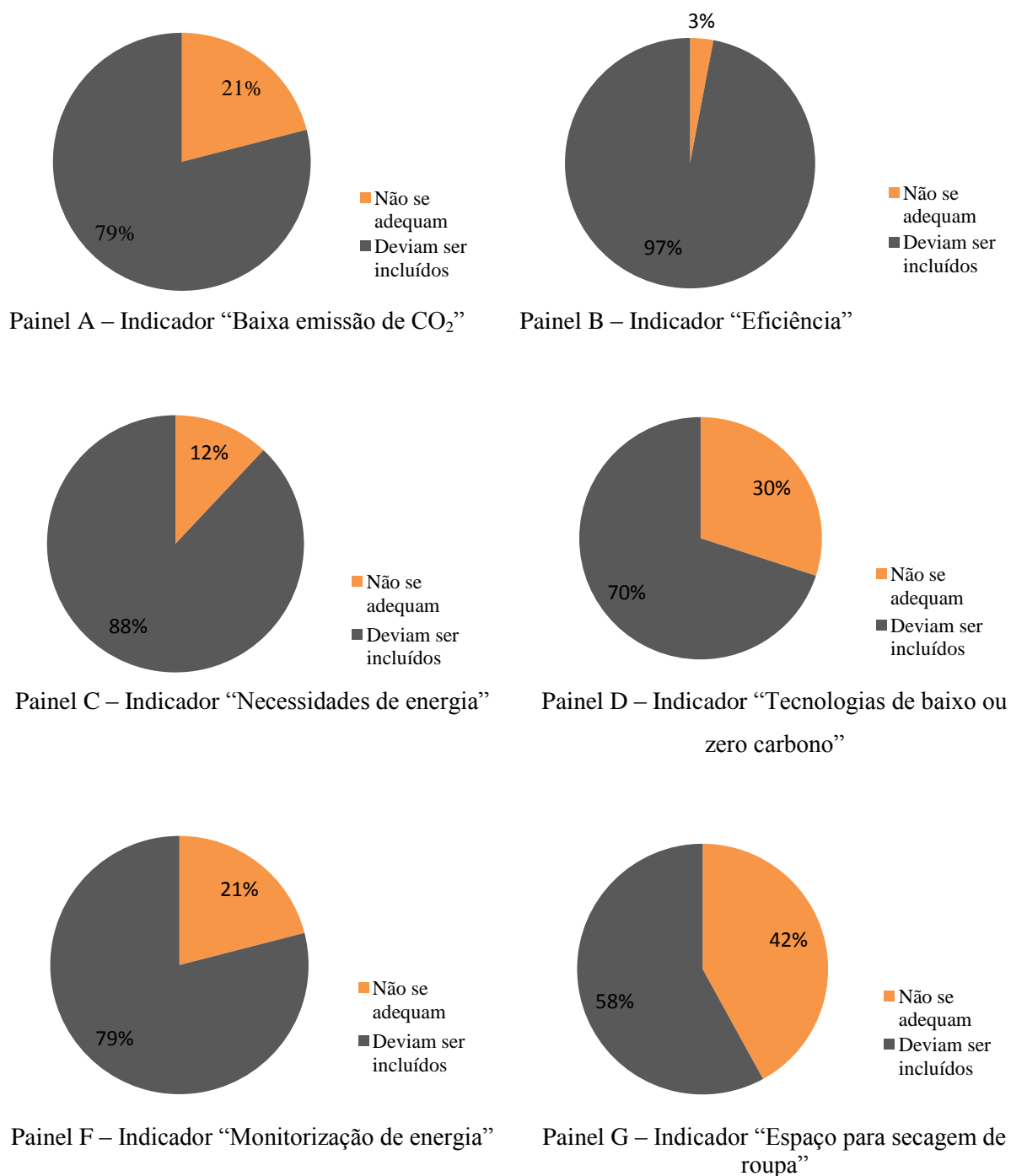
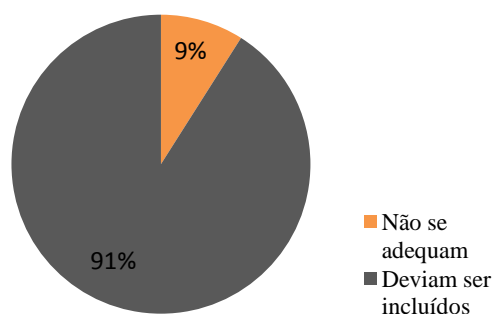


Figura 39 - Categoria “Impacte ambiental e eficiência energética”

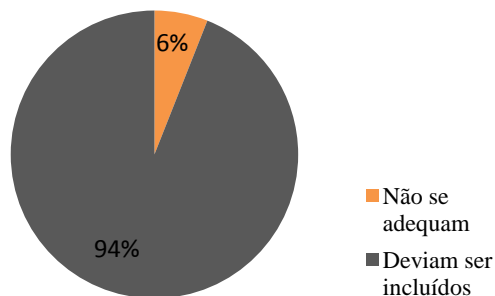
5.3.3.2 Sustentabilidade local

No âmbito da categoria *sustentabilidade local* a maioria dos inquiridos considerou que os indicadores “Escolha do local” (91%), “Controlo do ruído” (94%), “Projeto de águas pluviais” (88%), “Ecologia local/ Biodiversidade” (79%), “Impactes regionais” (73%) e “Poluição luminosa” (64%) devem ser considerados/ incluídos na fase de projeto de um determinado edifício.

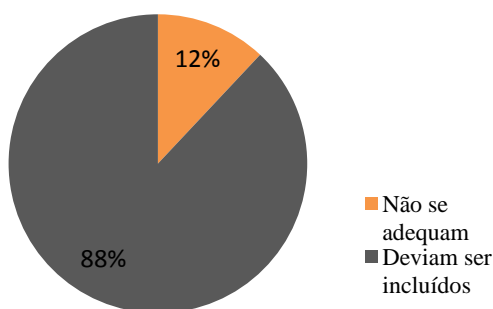
Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Impacte Sustentabilidade local* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 40, seguidamente apresentada.



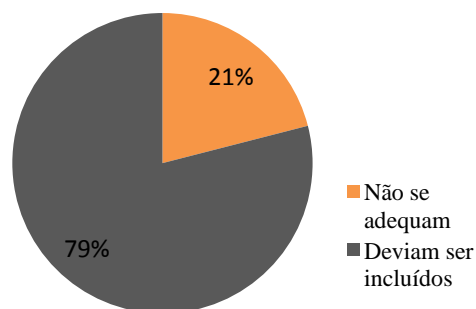
Painel A – Indicador “Escolha do local”



Painel B – Indicador “Controlo do ruído”



Painel C – Indicador “Projeto de águas pluviais”



Painel D – Indicador “Ecologia local/
Biodiversidade”

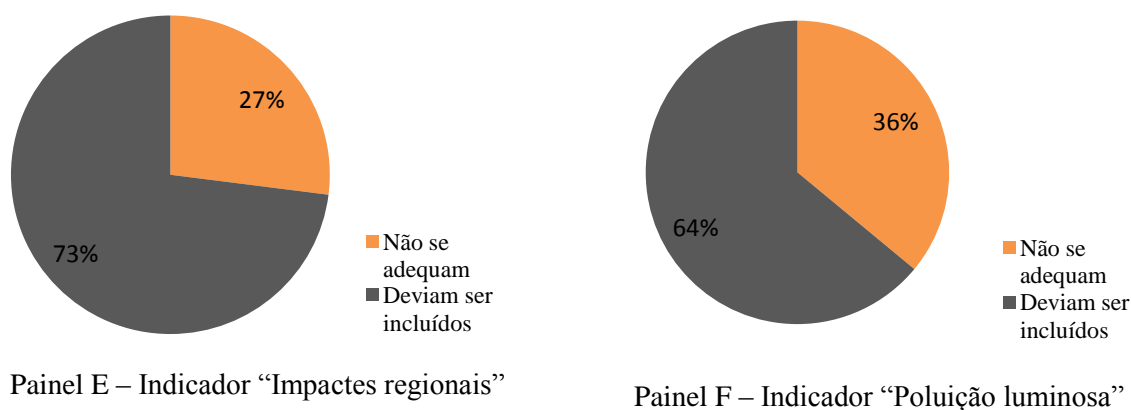
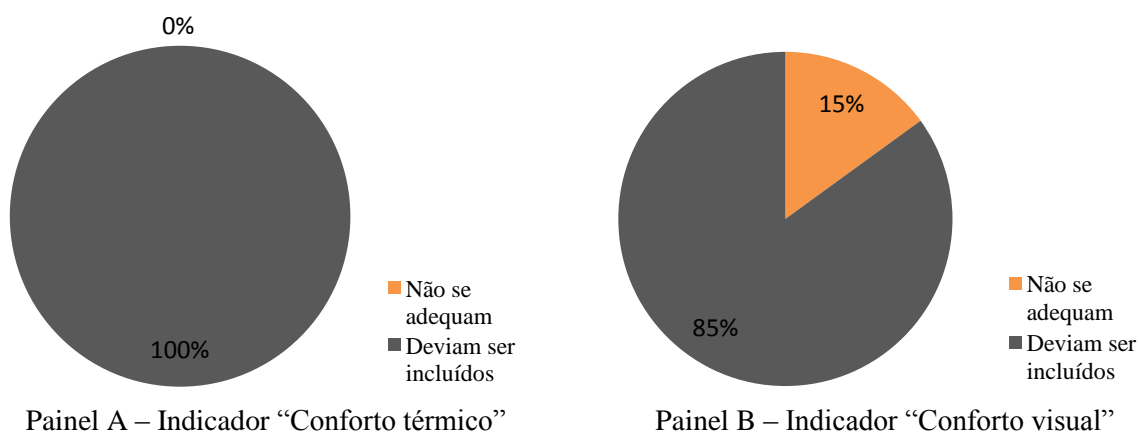


Figura 40 - Categoria “Sustentabilidade local”

5.3.3.3 Qualidade do ar interior

Os indicadores referentes à categoria *qualidade do ar interior* foram na sua maioria selecionados para a inclusão na fase de projeto, sendo o indicador “Conforto térmico” selecionado pela totalidade dos inquiridos (100%). Os indicadores “Conforto visual”, “Acústica”, “Ventilação”, “Qualidade da água” e “Higiene” foram selecionados por 85%, 97%, 97%, 85% e 85%, respetivamente, dos inquiridos.

Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Qualidade do ar interior* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 41, seguidamente apresentada.



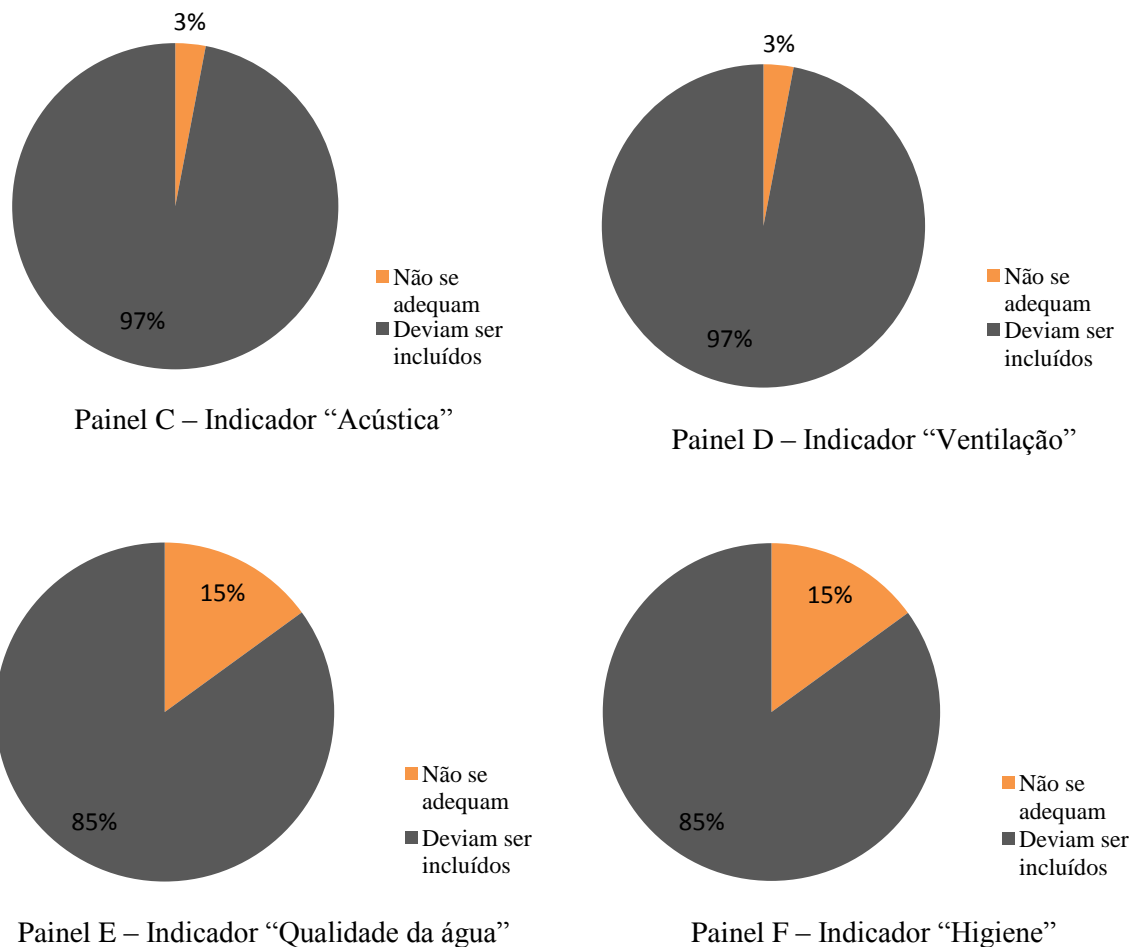


Figura 41 - Categoria “Qualidade do ar interior”

5.3.3.4 Materiais e Recursos

A maior parte dos inquiridos revelou que devem ser incluídas os indicadores “Reutilização de materiais” (85%), “Conteúdo reciclado” (79%), “Fontes renováveis” (100%), “Fontes responsáveis” (73%), “Robustez/ Durabilidade” (94%) e “Facilidade de desmontagem, reutilização ou reciclagem” (73%) na fase de projeto.

Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Materiais e Recursos* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 42, seguidamente apresentada.

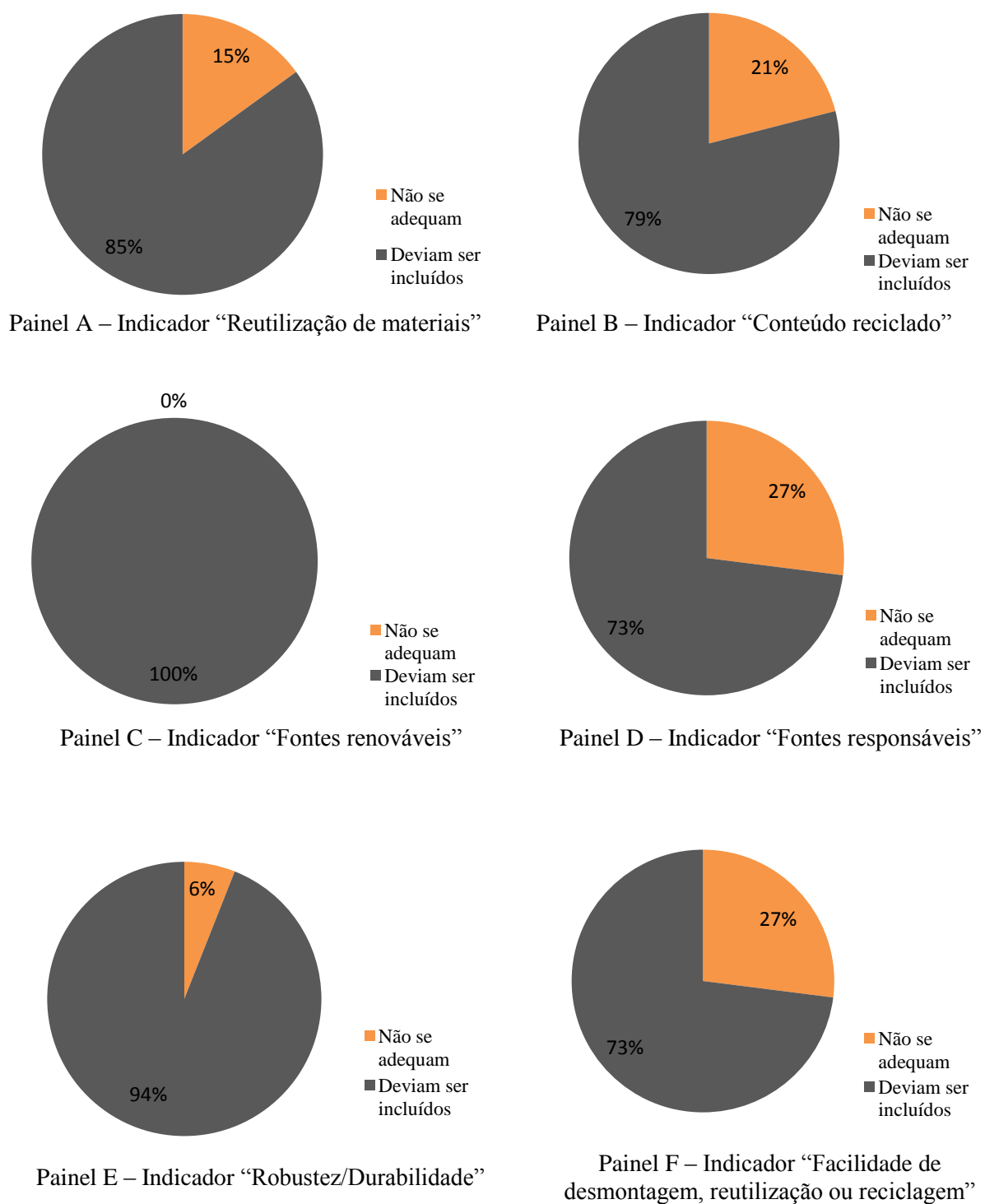
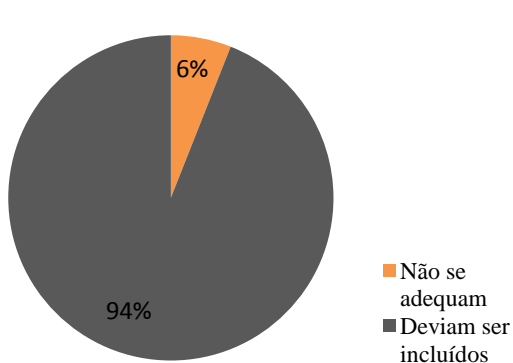


Figura 42 - Categoria “Materiais e Recursos”

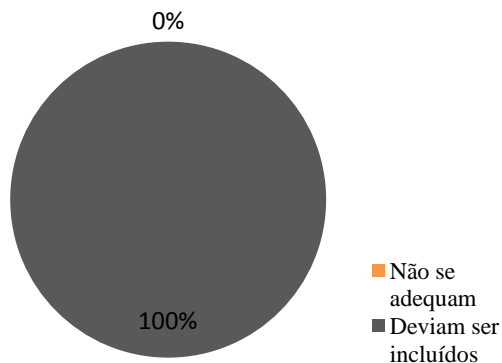
5.3.3.5 Custos

Os indicadores “custos de ciclo de vida”, “acessibilidade”, “risco de investimento”, “custo de reassentamento de pessoas”, “custo/benefício da sociedade local” e “economia local” foram selecionados pela maioria dos inquiridos para que sejam incluídos na fase de projeto de um edifício, representando, 94%, 100%, 94%, 73%, 67% e 70%, respetivamente, da amostra total.

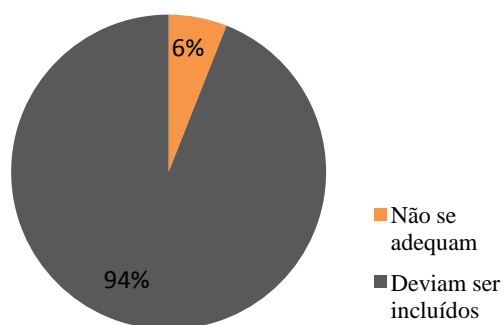
Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Custos* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 43, seguidamente apresentada.



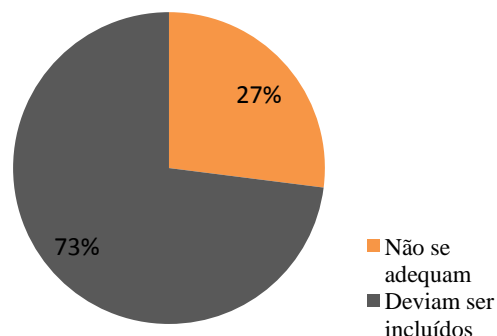
Painel A – Indicador “Custos de ciclo de vida”



Painel B – Indicador “Acessibilidade”



Painel C – Indicador “Risco de investimento



Painel D – Indicador “Custo de reassentamento de pessoas”

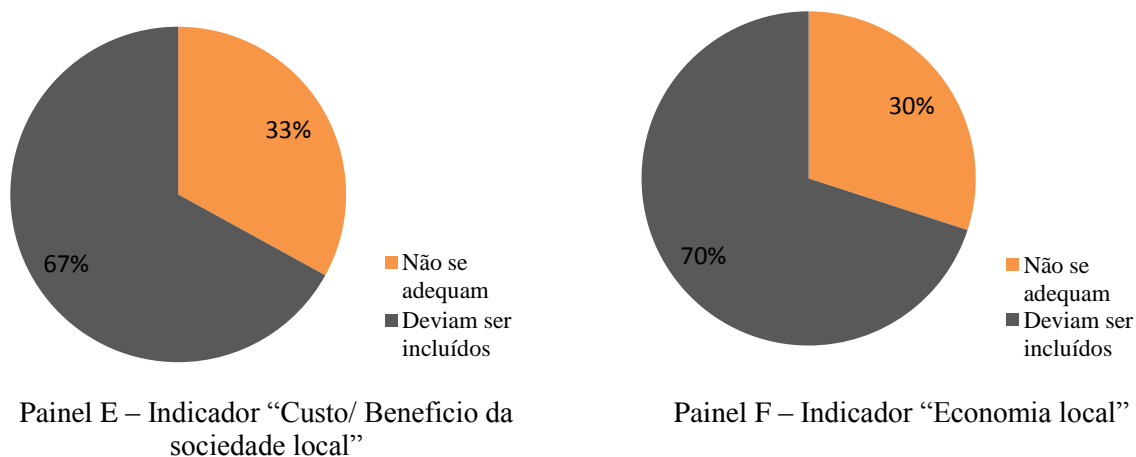
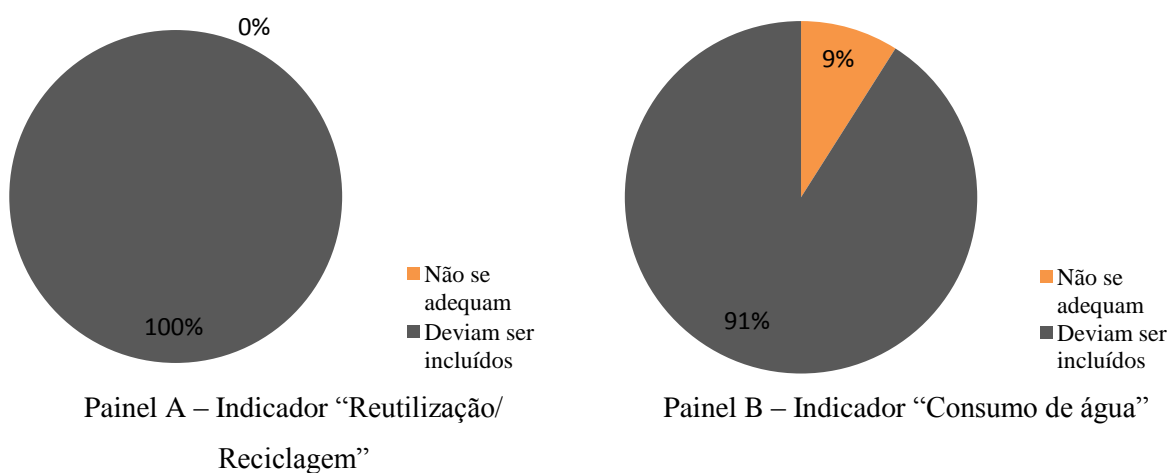


Figura 43 - Categoria “Custos”

5.3.3.6 Eficiência da água

No âmbito da categoria de sustentabilidade, *eficiência da água*, a maioria dos indivíduos considerou que os indicadores “Reutilização/ Reciclagem”, “Consumo de água”, “Monitorização da água”, “Detenção de fugas”, “Água incorporada na fase de construção” e “Equipamentos de água eficientes” devem ser incluídos na fase de projeto, correspondendo a 100%, 91%, 79%, 76%, 73% e 88%, respetivamente, na amostra total.

Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Eficiência da água* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 44, seguidamente apresentada.



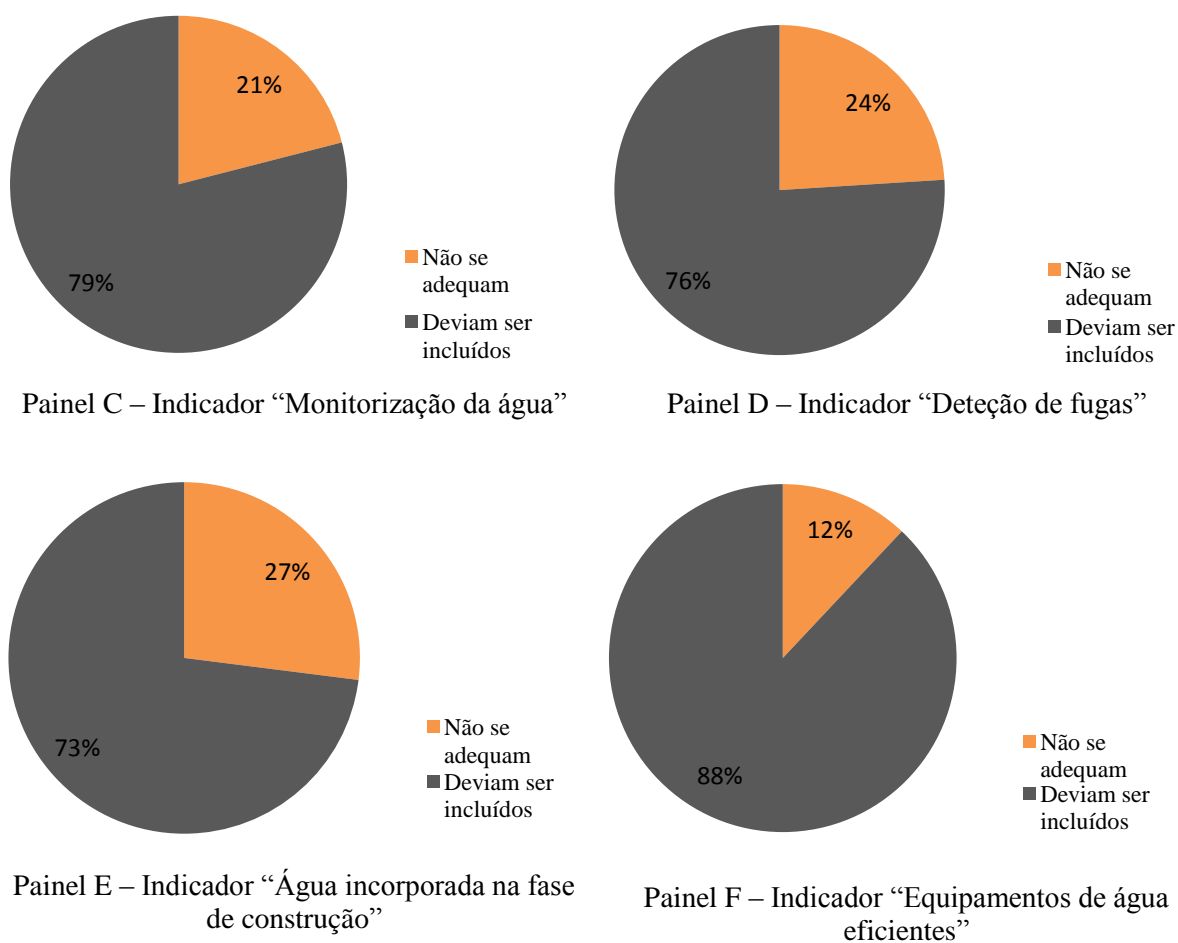


Figura 44 - Categoria “Eficiência da água”

5.3.3.7 Desperdícios

A maior parte dos inquiridos revelou que devem ser incluídos na fase de projeto, os indicadores “gestão de resíduos de construção” (85%), “resíduos não perigosos” (79%), “resíduos perigosos” (91%), bem como “efluentes líquidos” (88%).

Neste âmbito, a percentagem de inquiridos que indicam que a categoria *Desperdícios* deve ser incluída na fase de projeto de um determinado edifício, é apresentada na Figura 45, seguidamente apresentada.

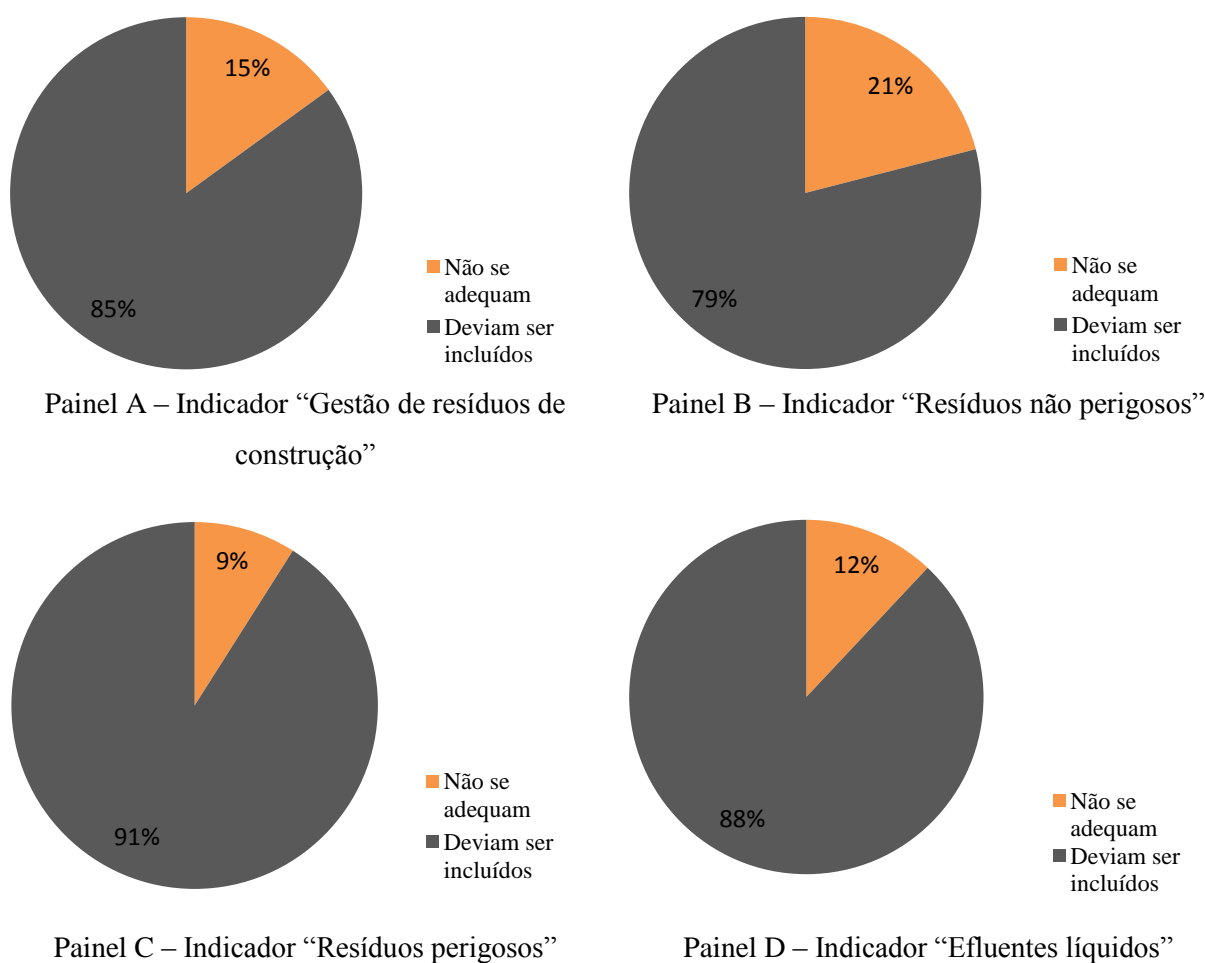


Figura 45 - Categoria "Desperdícios"

Em suma, sabendo que os indicadores "eficiência", "necessidades de energia", "projeto de águas pluviais", "higiene", "qualidade da água", "ventilação", "acústica", "conforto visual", "conforto térmico", "eficiência do espaço", "robustez/ durabilidade", "risco de investimento", "acessibilidade", "consumo de água", "resíduos perigosos", "resíduos não perigosos" e "gestão de resíduos de construção" já são inseridos na fase de projeto de um edifício, analisando os dados obtidos para *Indicadores de Sustentabilidade a considerar na fase de projeto*, os indicadores "escolha do local", "controlo do ruído", "fontes renováveis", "custos de ciclo de vida" e "reutilização/reciclagem" devem ser inseridos na fase de projeto (Quadro 14). De referir que esta conclusão tem por base apenas as percentagens de inquiridos superiores a 90%, uma vez que a amostra em estudo é de pequena dimensão e, por conseguinte, pode não representar toda a população em que este estudo se baseia. A selecção dos itens escolhidos por pelo menos 90% dos participantes visa, assim, proporcionar uma

perspectiva mais fiável dos indicadores de sustentabilidade que são *mais consensualmente* considerados como devendo ser tidos em conta na fase de projeto.

Quadro 14 – Indicadores considerados e a considerar na fase de projeto

Indicadores considerados na fase de projeto	Eficiência
	Necessidades de energia
	Projeto de águas pluviais
	Higiene
	Qualidade da água
	Ventilação
	Acústica
	Conforto visual
	Conforto térmico
	Eficiência do espaço
	Robustez/ durabilidade
	Risco de investimento
	Acessibilidade
	Consumo de água
	Resíduos perigosos
	Resíduos não perigosos
	Gestão de resíduos de construção
Indicadores que devem ser inseridos na fase de projeto	Escolha do local
	Controlo do ruído
	Fontes renováveis
	Custos de ciclo de vida
	Reutilização/reciclagem

Apesar da importante informação revelada pela análise das respostas ao questionário, importa salientar que os dados obtidos requerem cautela pois o resultado correspondente à inclusão de todos os indicadores de sustentabilidade apresentados pode ser reflexo de uma perspetiva demasiado otimista por parte da camada jovem que compõe a amostra. Também é de destacar a questão da desejabilidade social, visto que alguns indivíduos podem ter respondido de uma determinada forma por acharem que essa é a forma “socialmente desejável”. Para além disso, por se tratar de um questionário extenso e, em particular, dado que a questão da inclusão ou não inserção dos indicadores apresentados corresponde à última parte do questionário, os resultados obtidos podem ser um reflexo da fadiga por parte dos inquiridos, durante a resposta ao inquérito.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões do estudo

Um projeto sustentável permite obter espaços mais confortáveis e saudáveis, promove poupança económica através de um *design* eficiente, enquanto o impacto global sobre o meio ambiente é reduzido, se não melhorado. Até hoje, foram resolvidas inúmeras ferramentas e metodologias de avaliação da sustentabilidade da construção, com o objetivo de promover a construção sustentável. No entanto, nenhuma delas é suficientemente eficiente para apoiar o desenvolvimento de um projeto que assegure a sustentabilidade de um edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida.

A análise dos Indicadores de Sustentabilidade permitiu concluir que ainda há um longo caminho a percorrer na direção de práticas de construção *sustentáveis*. No seu todo, a análise das respostas ao questionário sugerem que importantes indicadores de sustentabilidade não são considerados, ou são considerados raramente, na fase de projeto. Neste sentido, os resultados sugerem que é importante e urgente criar medidas de modo a combater os excessos e desperdícios, sendo necessário mudar a mentalidade e o comportamento dos envolvidos na construção (desde o engenheiro ao habitante). Ao exercer o seu papel de promotor da sustentabilidade, a equipa de projeto, em particular, promoverá a articulação entre a construção, a sociedade, a economia e o ambiente. Neste sentido, é necessário dar maior importância à escolha dos materiais, uma vez que estes são a base para a construção de um edifício e para o desenvolvimento sustentável. Atualmente, estes são bastante menosprezados, não sendo, na maior parte das vezes, os indicados para um determinado tipo de utilização. Assim, uma boa escolha e aplicação dos diversos materiais permitirá um melhor aproveitamento e qualidade na construção. É importante referir que, no âmbito do indicador “desperdícios”, existem determinadas regras/normas claras para o tratamento dos desperdícios/resíduos, as quais devem ser respeitadas e, por tudo isto, já são incluídas na fase de projeto. No entanto, é necessário promover o consumo moderado e o combate ao desperdício. Deste modo, a combinação de todos os indicadores referentes a cada categoria de Sustentabilidade proporcionará o conforto necessário de um determinado edifício aos

respetivos habitantes. Os indicadores analisados deveriam ser alvo de inserção na fase de projeto para que, deste modo, seja possível determinar exaustivamente as condições de utilização da moradia, edifício ou loteamento. Ao abordar todos estes temas na execução do projeto, poder-se-á contribuir para uma construção económica, usando materiais reciclados e energias renováveis, por exemplo, preparando assim a habitação para o futuro e promovendo, acima de tudo, o seu conforto. Caso estes critérios fossem obrigatórios quando aplicados à reconstrução/reabilitação de edifícios, estes poderiam afigurar-se como uma alternativa para o sector da construção. Neste âmbito, como alternativa aos materiais utilizados na construção convencional indica-se o aço. A indústria de aço traduz uma redução significativa na emissão de CO₂ através do desenvolvimento de novos processos siderúrgicos com a utilização de diferentes combustíveis. O aço é reciclado e reutilizado em novos produtos com melhores características de modo a assegurar um futuro seguro. O aço é continuamente reciclado, o que significa que pode ser reciclado infinitas vezes sem qualquer perda de desempenho. Sendo que mais e mais atenção está a ser dada ao impacto do ciclo de vida dos materiais, há um foco renovado sobre a Avaliação do Ciclo de Vida para bens de consumo. Contudo, apesar das conclusões obtidas e anteriormente descritas, o estudo apresenta algumas limitações. Por exemplo, uma limitação a destacar é o reduzido tamanho da amostra. Para se obterem conclusões mais concretas acerca da utilização dos Indicadores de Sustentabilidade na fase de projeto, estudos futuros deverão incluir um aumento do número de participantes e, por conseguinte, da amostra do estudo, no sentido de fornecerem informação viável e representativa da população que é alvo de estudo. Para além disso, a amostra não é representativa geograficamente de toda a população de profissionais da área (Norte, Centro e Sul de Portugal), pelo que os dados obtidos neste estudo não permitem, assim, determinar se há diferenças geográficas na forma de perspetivar e usar índices de sustentabilidade no âmbito da construção de edifícios.

Por tudo isto, após pequenas limitações inseridas no estudo dos Indicadores de Sustentabilidade na Construção na fase de projeto mas com resultados eficientes e lógicos, é possível proferir que todos os objetivos inicialmente estipulados foram concretizados.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Podem integrar-se neste trabalho de investigação diversas propostas de continuidade, pois o tema em questão apresenta, como foi demonstrado, um considerável potencial de desenvolvimento futuro. Deste modo, são inúmeras as orientações para estudos futuros, podendo estes passar pelo estudo da viabilidade da introdução dos Indicadores de Sustentabilidade na fase de projeto, assim como pela criação de medidas para que esses Indicadores não sejam banalizados e menosprezados. Para além disso, estudos futuros deverão identificar quais os requisitos necessários para garantir a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios em estrutura metálica, nas fases de estudo de projeto. Neste sentido, sugere-se a criação de um questionário, pouco extensivo de modo a tornar-se apelativo aos indivíduos e não exaustivo, destinado a um maior número de participantes, incluindo, por exemplo, representantes da Engenharia de diferentes países Europeus, para um conhecimento mais alargado das práticas de sustentabilidade na Europa e das necessidades de intervenção no sentido de promoção da sustentabilidade. Apesar de haver um longo caminho a percorrer, é de destacar o papel crescente que a promoção da sustentabilidade tem assumido no âmbito da construção: o engenheiro aproxima-se, assim, e cada vez mais, da sociedade, do ambiente e da economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenda 21 Brasileira (2002) Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. Brasília.

ALWAER, H. & CLEMENTS-CROOME, D. J. (2010). Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, 45, 799-807.

American Institute of Steel Construction (2003) [Internet] Disponível em: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=662> [Acesso em 20 de Maio de 2012].

Andrade, J. (2011). *Early stage design methodology to ensure life-cycle sustainability of steel residential buildings*. Civil Engineering Doctoral Program, Universidade do Minho.

Andrade, J. e Bragança, L. (2011) Analysis of the impacts of economic and social indicators to sustainability assessment. Universidade do Minho, Guimarães.

Andrade, J. e Bragança, L. (2011) Sustainability Assessment and Standardisation – Steel Buildings Competitiveness of steel buildings in changing markets toward sustainability. Workshop, Budapest.

Aotake N, Ofuiji N, Miura M, Shimada N, Niwa H. (2005) Comparison among results of various comprehensive assessment systems — a case study for a model building using CASBEE, BREAAAM and LEED. *In proceedings of the 2005 Sustainable Building Conference (SB05)*, Tokyo, Japan.

ATHENA (2008). Canada. *Athena Institute web page* [Online]. Disponível em: <http://www.athenasmi.org/> [Acesso em Janeiro 2012].

Augenbroe, G., e Pearce, A. R. (1998). Sustainable Construction in the United States of America A perspective to the year 2010.

Bourdeau, L., Houvilla, P., Lating, R. and Gilham, A. (1998) Sustainable Development and the Future of Construction: A comparison of visions from various countries. CIB Publications, Rotterdam, Holland.

Bragança, L. (2005) Princípios de desenho e metodologias de avaliação da sustentabilidade das construções PhD; MSc; Eng. Civil.

Bragança, L., Mateus, R., and Koukkari, H. (2007). Assessment of building sustainability.

Bragança, L., Mateus R., e Koukkari H., (2010). Building Sustainability Assessment. Sustainability Journal, 2(7): p. 2010-2023.

BREEAM (2008) The world's leading design and assessment method for sustainable buildings. [Online] Disponível em <<http://www.breeam.org/>> [Acesso em Setembro de 2012].

Brundtland, G. (1987) Our common future: The world commission on environment and development. Oxford University Press, Oxford, UK.

BURGAN, B. A. & SANSOM, M. R. (2006). Sustainable Steel Construction. Journal of Constructional Steel Research

CEN (2009) European Committee for Standardization [Online] Disponível em: <<http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx>> [Acesso em Dezembro 2011].

CEOTTO, H. (2006) Construção Civil e o Meio Ambiente: 1ª parte. Notícias da Construção, São Paulo. Seção Qualidade e Produtividade. n 51.

CIB - Conseil International du Bâtiment. (1999). Agenda 21 on sustainable construction. CIB Publication 237, 121 p. Rotterdam, Holland.

Clercq, H. (2012) Steel leaves a legacy. Steel construction and engineering CADCON. Eskom, Medupi power station ACC structures, in JV.

CMM (2007) Dep. de Engenharia Civil - Universidade Coimbra - Polo II - Rua Luís Reis Santos 3030 - 788 Coimbra [Online] Disponível em: <<http://www.cmm.pt/>> [Acesso em Setembro de 2012]

Cole, R.J. (1999) Building environmental assessment methods: clarifying intensiond. *Building Research & Information*, 27, 230-246.

Cole RJ. (2004) Changing context for environmental knowledge. *Build Res Inf*;32:91–109.

Cole, R. J., Howard, N., Ikaga, T., Nibel, S. (2004). Environmental Assessment Tools: Current and Future Roles. Sustainable Building Conference SB05, Issue Paper 4 & 5. Tokyo, Japan

Cooper (1999) I. Which focus for building assessment methods. *Environmental performance of sustainability Build Res Inf*; 27:321–31.

Corus (2010) Sustainable construction: The bigger Picture.

Crawley D, Aho I. (1999) Building environmental assessment methods: applications and development trends. *Build Res Inf*;27:300–8.

CRISP (2004) *A European Thematic Network on Construction and City Related Sustainability Indicators, Final report, Publishable part*. [Online] Disponível em <<http://cibworld.xs4all.nl/db/publication/browserecord.php?-action=browse&-recid=868>> [Acesso em Dezembro 2011].

Degani, Clarice M.; Cardoso, Francisco F. (2002) A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. NUTAU 2002. Sustentabilidade, Arquitectura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitectura e Urbanismo da Faculdade de Arquitectura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Desmyter J. and P.-H. Lefèbvre, BBRI. (2009) PERFECTION. Belgian Building Research Institute. *Performance Indicators for health, comfort and safety of the indoor environment*. Volume 2.

DING, G. K. C. (2008) Sustainable construction -The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86, 451-464.

ECORDYS (2008) Study on the Competitiveness of the European Steel Sector . *Final Report. Framework Contract of Sectoral Competitiveness Studies* ENTR/06/054. Rotterdam.

EGEO (2008) [Online] Disponível em <<http://ambienteonline.pt/noticias/detalhes.php?id=7411>> [Acesso em Novembro de 2012].

Eloy Fassi Casagrande Jr, Phd. (2008) Princípios e Parâmetros para a Construção Sustentável. Disponível em <<http://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/23234.pdf>> [Acesso em Janeiro de 2012].

EN 15643-1:2010 (2010) Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: *General framework*. Brussels: European Committee for Standardization.

European Comission (2011). *Eurostat* [Online].Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/about_eurostat/introduction>. [Acesso em Setembro de 2012].

European Commission (2012) Communication from the commission to the european parliament and the council strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM(2012) 433 final, Brussels.

European Construction Industry Federation (2011), FIEC [Internet] Disponível em: <<http://www.fiec.eu/Content/Default.asp?PageID=14&LanguageCode=EN>> [Acesso em Julho de 2012]

Eurostat (2011) Eurostat newsrelease, around 40% of the EU27 population live in urban regions 2012. Sustainable development in the European Union. Monitoring report of the EU sustainable development strategy.

Fernandes, J.; Mateus, R.; 2012 Energy efficiency principles in Portuguese vernacular architecture

Fernández-Sánchez, G. & Rodríguez-López, F. (2010) A methodology to identify sustainability indicators in construction project management. Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators*, 10, 1193-1201.

Folvik, K. & Waerp, S. (2009). Development and use of environmental product declarations (epd) - knowledge based choice of building materials for sustainable design.

Forsberg, A. & Von Malmberg, F. (2004) Tools for environmental assessment of the built environment. *Building and Environment*, 39, 223-228.

Gervásio, H. (2008) A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas. *Construmetal - Congresso Latino-Americano da Construção Metálica*. São Paulo, Brasil.

Gervásio, H. e Simões da Silva, L. (2005). A sustentabilidade do aço. Congresso de construção metálica e mista. Lisboa.

Haapio, A. & Viitaniemi, P. (2008) A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 469-482.

Huovila, P. (1999) No caminho para a construção sustentável.

IEA (2001). LCA methods for buildings. In: BUILDINGS, A. E. R. E. I. O. (ed.). International Energy Agency.

iiSBE. (2009) International Initiative for a Sustainable Built Environment. *iiSBE homepage* [Internet]. Disponível em <http://www.iisbe.org/> [Acesso em Janeiro 2012].

Ilomaki, A., Luetzkendorf, T. e Trinius, W. 2008. Sustainability Assessment of Buildings in CEN/TC350 "Sustainability of Construction Works". *CIB Co-sponsored: World SB08 Melbourne: World Sustainable Building Conference*. Melbourne (Australia): CSIRO-Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia.

INE (2011) Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas do ambiente. INE, Lisboa. [Online] Disponível em: <<http://www.ine.pt/prodserv/catalogo/ptema.asp?tema=b>> [Acesso em Setembro de 2012].

International Iron and Steel Institute (2002). Industry as a partner for sustainable development - Iron and Steel UNEP [Online] Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/csd/wssd/docs/sectors/final/iron-steel.pdf>> [Acesso em Maio de 2012]

International Standard 14044 (2006) "Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines".

ISO/ TC 59 (2011). Buildings and civil engineering works Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. [Online]. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=49070> [Acesso em Junho 2012].

ISO 14040 (2006). Environmental management - life cycle assessment - Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

ISO 14041 (1998). Environmental management - life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISO 14042 (2000). Environmental management - life cycle assessment - Life cycle impact assessment. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Jefferson I, Hunt L., Birchall A., Rogers F. (2007). Sustainability Indicators for Environmental Geotechnics- Proceedings of the Institute of Civil Engineers , Engineering Sustainability.

Kawazu Y, Shimada N, Yokoo N, Oka T. (2005) Comparison of the assessment results of BREEAM, LEED, GBTool and CASBEE. *In proceedings of the 2005 Sustainable Building Conference (SB05)*, Tokyo, Japan.

Kohler, N. (1999) The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective. *Building Research & Information*, 27, 309-320.

Kohler, N. e Moffatt (2003). Approach and objectives of the SB_STEEL project.

Koukkari, H. (2011). Approach and objectives of the SB_steel project. Competitiveness of steel buildings in changing markets toward sustainability Workshop, Budapest.

LiderA (2010) [Online] Disponível em <http://www.lidera.info/index.aspx> [Acesso em Fevereiro 2012].

LEED®. 2012. homepage of LEED® [Internet]. Disponível em <<http://www.leedonline.com>> [Acesso em Setembro de 2012].

Living Steel. (2010) *Building with Steel* [Online]. Disponível em <<http://www.livingsteel.org/>> [Acesso em Janeiro 2012].

Mateus, R.. (2004) *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Minho.

Mateus, R. e Bragança, L. (2004) Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas. [Online] Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/>> [Acesso em Janeiro de 2012].

Mateus, R. e Bragança, L. (2006) *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*, Porto, Edições Ecopy.

Mateus, R.e Bragança, L. (2009) *Guia de Avaliação SBToolPT*, v1. iiSBE Portugal.

Mateus, R. e Bragança, L. (2011). *Life-cycle assessment of residential buildings*. Universidade do Minho, Guimarães.

Mateus, R. e Bragança, L. (2011). *Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H*. *Building and Environment*, 46, 1962-1971.

Mateus, R, Bragança, L. e Koukkari, H. (2008) *Sustainability Assessment and rating of Portuguese buildings*. CIB Co-sponsored: World SB08 Melbourne: World Sustainable Building Conference. Melbourne (Australia): CSIRO- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia.

MET@LICA. (1999) [Online] Disponível em <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>> [Acesso em Janeiro de 2012].

Meyer C.; 2002 *Concrete and Sustainable Development* Special Publication ACI 206, 2002
Concrete Materials Science to Application – A Tribute to Surendra P. Shah
American Concrete Institute, Farmington Hills, MI

Ortiz, O.; et al. (2009). *Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA*, Elsevier.

Peuportier, B. and Putzeys, K., (2005) PRESCO, WP2 Intercomparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tools for Buildings. *Final Report*. [Online] Disponível em <<http://www.etn-presco.net/generalinfo/index.html>> [Acesso em Janeiro de 2012].

Pinheiro, M. (2006). *Ambiente e construção sustentável* Instituto do Ambiente Amadora.

Podpora, E., Mostostal; Heli Koukkari, VTT e Veronique Dehan, ECCS; (2011) *COMPETIVENESS AND SUSTAINABILITY*.

Roodman, D. M., and Lenssen, N. (1995). *A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction*, Worldwatch Institute, Washington, DC.

Sampaio, R. (2011) *Avaliação do Impacte Ambiental de Ciclo de Vida de Tecnologia Construtivas de Aço*. Plano de Dissertação. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia.

Santos, Maria Berenice dos. (2009) *Estratégias de implantação de sustentabilidade no uso e manutenção de edificações residenciais existentes*. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFM Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFM.

Saparauskas, J.(2007). The main aspects of sustainability evaluation in construction. 9th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, Lithuania

Schneider Electric (2012) Creating shared value In Bangladesh.

Seo, S., Tucker, S., Ambrose, M., Mitchell, P., Wang, C.H., (2006) Technical Evaluation of Environmental Assessment Rating Tools, Research and Development Corporation, Project No. PN05.1019.

Steel Portugal (2009) [Online] Disponível em: < <http://steel-portugal.wikidot.com/>> [Acesso em Maio de 2012].

Stoy, C., Pollalis, S. & Schalcher, H. R. (2008) Drivers for cost estimating in early design: Case study of residential construction. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 134, 32-39.

Takashi akimoto shibaura institute of technology (2010) What we can learn from CASBEE (japan's version of LEED) and green building in Japan. [Online] Disponível em <http://www.jetro.org/documents/green_innov/Takashi_Akimoto_Presentation.pdf> [Acesso em Janeiro 2012].

Todd JA, Crawley D, Geissle S, Lindsey G. Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge. *Build Res Inf* 2001;29:324–35.

Torgal, F. Pacheco; Jalali, Said (2010). Eco-eficiência dos materiais de construção. *Revista Materiais de Construção. APCMC*. Vol. : nº 147, p. 46-53.

Ugwu, O. O. e Haupt, T. C. (2007) Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability--a South African construction industry perspective. *Building and Environment*, 42, 665-680.

Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A. e NG, S. T. (2006a) Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1. Development of indicators and computational methods. *Automation in Construction*, 15, 239-251.

Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A. e NG, S. T. (2006b) Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 2: A case study in bridge design. *Automation in Construction*, 15, 229-238.

United Nations Environment Programme.(2012). [Online] Disponível em <www.unep.org> [Acesso em Agosto 2012].

Vale, Carla; Mateus, Ricardo (2010) Avaliação de impactes ambientais de ciclo de vida de um edifício de habitação unifamiliar.

Vassart, O. (2011) Sustainability in research and practice Prof. Olivier Vassart, University of Louvain and R&D ArcelorMittal.

WORLD STEEL ASSOCIATION. 2011. *world steel association* [Online]. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org>> [Acesso em Outubro de 2012].

Yates, R., Baldwin, R., 1994. Assessing the environmental impact of buildings in the UK. In: *Proceedings of the CIB Congress*, Watford, UK.

ANEXO I

EXEMPLO DE INQUÉRITO ADMINISTRADO

ANEXO II

RESPOSTAS DOS INQUIRIDOS

II. 1. Na sua opinião, quais dos seguintes indicadores são considerados na fase de projeto de um edifício e com que frequência isso acontece?

Impacte ambiental e eficiência energética	Baixa emissão de CO2	2	3	3	1	3	3	4	4	4	4	2	4	3	4	2	2	2	S.O.	1	3	2	5	4	3	1	1	2	3	2	1	2	2	5	
	Eficiência	4	5	5	4	S.O.	S.O.	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5	4	3	3	4	4	5	5	3	2	2	3	3	3	4	3	4	
	Necessidades de energia	3	5	5	4	S.O.	4	4	3	5	4	S.O.	4	4	4	4	1	5	3	4	3	5	5	5	5	2	3	2	3	3	3	3	4		
	Tecnologias de baixo ou zero carbono	2	2	3	S.O.	S.O.	S.O.	3	3	3	3	2	3	2	3	3	S.O.	4	2	S.O.	1	2	2	3	2	2	2	1	2	3	3	1	2	2	5
	Monitorização de energia	2	4	4	4	S.O.	2	3	3	3	4	3	3	3	5	4	3	2	3	4	3	3	2	3	2	3	2	1	2	3	2	1	4	3	4
Sustentabilidade Local	Espaço para secagem de roupa	3	4	3	S.O.	S.O.	1	3	3	2	3	2	3	2	1	3	2	3	2	3	2	4	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3
	Impacte Ambiental de Ciclo de vida	2	5	5	3	S.O.	2	4	5	3	4	2	3	3	5	S.O.	1	2	3	S.O.	3	2	S.O.	2	4	2	2	2	2	3	3	1	2	3	5
	Escolha do local	4	5	3	3	S.O.	3	3	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	2	3	2	3	3	4	3	4	3	2	3	3	3	4	4	5	
	Controlo do ruído	3	4	5	S.O.	S.O.	3	3	4	3	4	3	5	3	3	4	4	2	4	2	2	3	4	4	3	3	4	3	2	3	4	4	4	5	
	Projecto de águas pluviais	5	3	5	3	S.O.	4	4	3	3	4	3	5	3	1	3	3	4	5	4	4	5	5	5	4	5	3	2	3	4	3	4	5	4	
Qualidade do ar interior	Ecologia local/biodiversidade	2	3	3	S.O.	S.O.	2	4	4	4	3	4	2	1	4	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	3	4	4	
	Impactos regionais	3	3	5	S.O.	S.O.	2	4	4	4	3	4	3	5	3	2	2	3	2	3	3	2	2	2	1	2	3	3	2	3	2	4	4	4	
	Polição luminosa	2	4	4	3	S.O.	3	4	4	5	4	2	4	3	2	1	1	2	1	4	2	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	4	
	Conforto térmico	5	5	5	2	4	3	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	2	3	4	3	4	5	
	Conforto visual	3	5	4	4	S.O.	3	4	4	5	3	5	4	5	5	4	3	2	4	3	4	4	4	5	4	4	3	2	3	4	4	4	4	4	
Materiais e Recursos	Acústica	5	5	5	2	S.O.	3	4	4	5	4	5	3	4	5	4	3	3	4	3	3	4	4	5	3	5	3	2	3	3	3	4	5	4	
	Ventilação	4	4	5	4	S.O.	3	4	4	5	4	5	4	5	4	3	2	2	4	3	4	3	4	5	4	4	5	3	2	3	3	3	4	5	
	Qualidade da água	2	4	5	2	S.O.	3	4	4	3	5	4	5	4	3	5	2	3	4	5	2	4	5	2	4	5	3	2	3	3	3	3	4	5	
	Higiene	S.O.	3	5	4	S.O.	3	4	5	4	5	4	5	5	5	5	3	3	4	4	4	4	5	4	3	4	3	2	3	4	3	4	4	5	
	Reutilização de materiais	3	4	3	1	S.O.	2	4	3	5	4	2	4	3	5	4	2	2	2	4	3	3	4	4	5	4	2	3	1	2	2	3	4	3	5
Custos	Conteúdo reciclado	3	3	3	1	S.O.	2	3	3	4	3	3	4	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	4	3	2	3	1	2	3	2	2	3	5	
	Fontes renováveis	4	4	3	2	5	2	3	4	4	3	3	4	2	3	2	2	2	S.O.	2	2	3	3	2	4	1	2	2	3	4	3	3	4	5	
	Fontes responsáveis	S.O.	3	3	4	S.O.	2	4	4	3	3	2	4	3	1	4	2	2	S.O.	3	3	S.O.	3	3	3	3	1	2	2	3	4	2	3	S.O.	4
	Robustez/Durabilidade	4	5	4	4	S.O.	2	4	4	4	3	4	4	5	4	3	3	2	3	3	4	4	4	5	4	3	2	3	2	4	4	5	5		
	Facilidade de desmontagem, reutilização ou adaptabilidade	3	5	3	4	S.O.	2	4	4	4	3	4	3	5	3	3	2	2	2	3	3	4	4	2	4	1	2	2	3	2	2	3	2	4	
Eficiência da água	Eficiência do espaço	S.O.	4	3	4	S.O.	2	3	4	4	3	3	4	3	5	5	2	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	4	
	Custos de ciclo de vida	4	5	4	5	S.O.	3	4	4	5	4	4	5	4	4	5	5	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	2	4	3	4	3	5	
	Acessibilidade	4	4	2	4	3	3	4	4	3	5	4	4	3	5	4	4	3	1	3	2	3	4	4	3	2	4	1	2	3	3	2	2	3	5
	Risco de investimento	5	5	3	4	S.O.	3	3	4	4	5	3	5	4	5	5	2	3	4	4	3	3	5	4	4	3	2	3	4	3	3	4	4	4	
	Custo de reassentamento de pessoas	4	4	2	3	S.O.	3	4	5	3	4	3	5	4	5	5	1	3	3	3	4	4	5	4	5	3	2	3	3	2	4	4	5		
Eficiência da água	Custo/benefício da sociedade local	3	2	2	1	S.O.	3	4	4	4	2	5	5	4	3	3	2	4	3	2	3	2	3	5	2	3	2	2	3	3	2	2	2	4	
	Economia local	3	3	2	1	S.O.	3	S.O.	4	4	3	5	4	4	3	3	2	4	3	2	4	3	2	4	5	2	4	3	2	4	3	2	5		
	Reutilização/Reciclagem	3	4	3	4	S.O.	3	4	4	5	5	3	4	3	3	3	1	2	3	2	3	2	4	3	4	4	2	3	3	2	2	3	5		
	Consumo de água	3	5	2	4	S.O.	4	4	4	5	5	3	5	4	2	4	1	2	3	4	3	2	4	3	5	4	4	2	3	4	2	3	5		
	Monitorização da água	2	4	3	2	S.O.	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	1	2	2	3	3	3	5	4	4	4	1	2	3	4	2	3	4	4	
Desperdícios	Detenção de fugas	2	3	3	1	S.O.	4	4	4	2	3	4	2	5	5	1	2	2	3	3	4	5	4	4	5	4	4	1	2	3	4	2	4	5	
	Água incorporada na fase de construção	3	2	4	1	3	4	4	4	3	5	2	5	3	5	3	2	2	4	4	2	4	2	5	3	3	1	1	2	3	2	2	4	4	
	Equipamentos de água eficientes	2	5	4	3	S.O.	4	4	4	4	3	4	3	5	5	3	3	3	4	3	3	4	3	5	3	3	1	2	3	4	3	4	5		
	Gestão de resíduos de construção	4	4	5	4	5	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	2	4	4	3	5	4	4	3	5	4	4	4	5	
	Resíduos não perigosos	3	5	5	3	S.O.	3	4	4	2	4	2	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	2	4	3	3	5	3	4	4	2	4	4	

... - Sem opinião

S.O. – Sem opinião

II.2. Com base na sua experiência, selecione os indicadores que não se adequam e os que deveriam ser incluídos, mas atualmente não são na fase de projeto.

[illegible]

